

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

AF

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 11135838 A

(43) Date of publication of application: 21.05.99

(51) Int. Cl

**H01L 33/00**

(21) Application number: 09286987

(22) Date of filing: 20.10.97

(71) Applicant: IND TECHNOL RES INST

(72) Inventor: CHIN KINGEN  
KO CHONEN  
KO HISHO  
KO MEIKO  
RIN KOKA**(54) WHITE-COLOR LIGHT-EMITTING DIODE AND MANUFACTURE THEREOF**

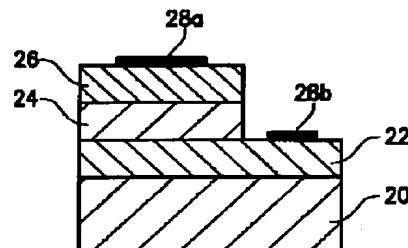
## (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain light of white color by providing a second n-type semiconductor-material layer and a second electrode on a first n-type semiconductor-material layer, providing a p-type semiconductor-material layer on the second n-type semiconductor-material layer, providing the first electrode on the p-type semiconductor-material layer and generating light, wherein the spectrum has a plurality of wavelength peaks.

**SOLUTION:** On a substrate 20, an n-type gallium nitride 22 of a first n-type semiconductor-material layer, an n-type gallium nitride 24 of a second n-type semiconductor-material layer and a p-type gallium nitride 26 are formed. Parts of the n-type gallium nitride 24 and the p-type gallium nitride 26 are removed. A first electrode 28a and a second electrode 28b are formed on the p-type gallium nitride 26 and the n-type gallium nitride 24. The respectively different energy gaps are made to be generated at the n-type gallium nitride 22, the n-type gallium 24 and the p-type gallium nitride 26. When a current is applied from the outside in the vicinity of the interface of the n-type

gallium nitride 24 and the p-type gallium nitride 26, the light-emitting spectrum generates light having two wavelength peaks.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



特開平11-135838

(43)公開日 平成11年(1999)5月21日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H01L 33/00

識別記号

F I

H01L 33/00

F

審査請求 有 請求項の数62 O L (全11頁)

(21)出願番号 特願平9-286987

(22)出願日 平成9年(1997)10月20日

(71)出願人 390023582

財団法人工業技術研究院

台湾新竹縣竹東鎮中興路四段195號

(72)発明者 陳 金源

台湾新竹市明湖路648巷102弄55号

(72)発明者 黄 兆年

台湾新竹縣竹東鎮光明路126巷4号5樓

(72)発明者 黄 斐章

台湾苗栗市嘉盛里208-1号

(72)発明者 洪 銘煌

台湾新竹市明湖路648巷104弄30号

(74)代理人 弁理士 鈴木 弘男

最終頁に続く

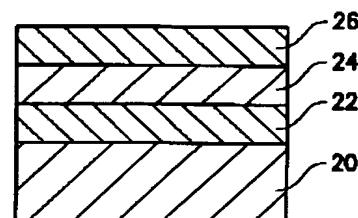
(54)【発明の名称】白色発光ダイオード及びその製造方法

(57)【要約】 (修正有)

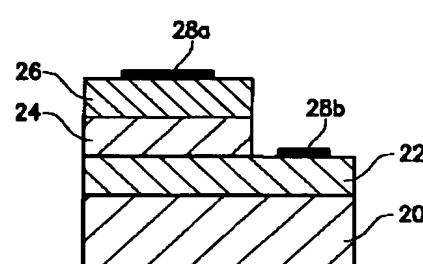
【課題】単体で白色光を発光することができる白色発光ダイオードおよびその製造方法を提供すること。

【解決手段】エピタキシャル成長によってp-n接合ダイオードを形成させる際の温度、圧力、アンモニア(NH<sub>3</sub>)流量、キャリアガス(水素と窒素)の成分比を調整し、あるいはマグネシウム、珪素等の不純物を加えることによって特定のパラメータの範囲内でp-n接合ダイオード接合面の発光スペクトルが波長ピークを2つ発するようにするものである。そのほか、p-n接合ダイオードの構造内に量子井戸構造を成長させ、同様にエピタキシャル成長を行う際のパラメータを調整することにより、量子井戸構造の発光スペクトルに複数の異なる波長ピークを発生させ、2つ又は3つの波長ピークを混合して白色光を合成することもできる。

(a)



(b)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、該基板上に形成され、上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された第1のn型半導体材料層と、

該第1のn型半導体材料層上に形成された第2のn型半導体材料層と、

該第2のn型半導体材料層上に形成されたp型半導体材料と、

該p型半導体材料上に形成され、且つ該p型半導体材料を完全には覆わない第1の電極と、

該第1のn型半導体材料の第2ゾーン上に形成され、且つ該第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極とからなり、

前記第1の電極と第2の電極に電流を流したとき、前記第2のn型半導体材料層とp型半導体材料の界面から発せられるスペクトルが2種類の波長ピークを有し、それにより白色光を合成できることを特徴とする白色発光ダイオード。

【請求項2】 前記n型半導体材料とp型半導体材料とともに窒化ガリウムであることを特徴とする請求項1に記載の白色発光ダイオード。

【請求項3】 前記第1のn型窒化ガリウムの代わりにn型窒化アルミニウム・ガリウムを、前記p型窒化ガリウムの代わりにp型窒化アルミニウム・ガリウムを使用できることを特徴とする請求項2に記載の白色発光ダイオード。

【請求項4】 基板と、該基板上に形成され、上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された緩衝層と、

該緩衝層の第1ゾーン上に形成された第1のn型半導体材料と、

該第1のn型半導体材料上に形成された第2のn型半導体材料と、

該第2のn型半導体材料上に形成された第1のp型半導体材料と、

該第1のp型半導体材料上に形成され、且つ該第1のp型半導体材料を完全には覆わない第2のp型半導体材料と、

該第2のp型半導体材料上に形成された第1の電極と、前記緩衝層の第2ゾーン上に形成され、且つ該第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極とからなることを特徴とする白色発光ダイオード。

【請求項5】 前記緩衝層が窒化ガリウム緩衝層であることを特徴とする請求項4に記載の白色発光ダイオード。

【請求項6】 前記第1のn型半導体材料がn型窒化アルミニウム・ガリウムであることを特徴とする請求項4に記載の白色発光ダイオード。

【請求項7】 前記第2のn型半導体材料がn型窒化ガリウムであることを特徴とする請求項4に記載の白色発光ダイオード。

【請求項8】 前記第1のp型半導体材料がp型窒化アルミニウム・ガリウムであることを特徴とする請求項4に記載の白色発光ダイオード。

【請求項9】 前記第2のp型半導体材料がp型窒化ガリウムであることを特徴とする請求項4に記載の白色発光ダイオード。

【請求項10】 基板と、該基板上に形成され、上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された緩衝層と、該緩衝層の第1ゾーン上に形成されたn型半導体材料と、

該n型半導体材料上に形成され、波長が約550nmから620nmの黄色光を発することのできる第1の量子井戸構造と、

該第1の量子井戸構造上に形成され、波長が約370nmから500nmの青色光を発することのできる第2の量子井戸構造と、

該第2の量子井戸構造上に形成された第1のp型半導体材料と、

該第1のp型半導体材料上に形成され、且つ該第1のp型半導体材料を完全には覆わない第2のp型半導体材料と、

該第2のp型半導体材料上に形成された第1の電極と、前記緩衝層の第2ゾーン上に形成され、且つ該第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極とからなることを特徴とする白色発光ダイオード。

【請求項11】 前記緩衝層が窒化ガリウム緩衝層であることを特徴とする請求項10に記載の白色発光ダイオード。

【請求項12】 前記n型半導体材料がn型窒化アルミニウム・ガリウムであることを特徴とする請求項10に記載の白色発光ダイオード。

【請求項13】 前記第1の量子井戸構造と第2の量子井戸構造がともに窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造であることを特徴とする請求項10に記載の白色発光ダイオード。

【請求項14】 前記第1のp型半導体材料がp型窒化アルミニウム・ガリウムであることを特徴とする請求項10に記載の白色発光ダイオード。

【請求項15】 前記第2のp型半導体材料がp型窒化ガリウムであることを特徴とする請求項10に記載の白色発光ダイオード。

【請求項16】 前記n型窒化アルミニウム・ガリウムの化学式が $A_{1-x}Ga_xN$ で表わされ、且つ $1 \geq x > 0$ であることを特徴とする請求項12に記載の白色発光ダイオード。

【請求項17】 前記p型窒化アルミニウム・ガリウムの化学式が $A_{1-x}Ga_xN$ で表わされ、且つ $1 \geq x > 0$ であることを特徴とする請求項14に記載の白色発光ダイオード。

50 【請求項18】 前記第1の窒化インジウム・ガリウム

量子井戸構造が、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層と、該窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側に位置する窒化インジウム・ガリウム障壁層とからなることを特徴とする請求項13に記載の白色発光ダイオード。

【請求項19】 前記第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造が、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層と、該窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側に位置する窒化インジウム・ガリウム障壁層とからなることを特徴とする請求項13に記載の白色発光ダイオード。

【請求項20】 前記第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造が、複数個の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層と、各窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側に位置する窒化インジウム・ガリウム障壁層とからなることを特徴とする請求項13に記載の白色発光ダイオード。

【請求項21】 前記第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造が、複数個の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層と、各窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側に位置する窒化インジウム・ガリウム障壁層とからなることを特徴とする請求項13に記載の白色発光ダイオード。

【請求項22】 前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の化学式が $I_n, Ga_{1-z}N$ で表され、前記窒化インジウム・ガリウム障壁層の化学式が $I_n, Ga_{1-y}N$ で表わされ、且つ $1 \geq z > y \geq 0$ であることを特徴とする請求項18又は請求項20に記載の白色発光ダイオード。

【請求項23】 前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の化学式が $I_n, Ga_{1-z}N$ で表され、前記窒化インジウム・ガリウム障壁層の化学式が $I_n, Ga_{1-y}N$ で表わされ、且つ $1 \geq n > m \geq 0$ であることを特徴とする請求項19又は請求項21に記載の白色発光ダイオード。

【請求項24】 前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の厚さが0.5nmから10nmの間であり、前記窒化インジウム・ガリウム障壁層の厚さが5nmから100nmの間であることを特徴とする請求項22に記載の白色発光ダイオード。

【請求項25】 前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の厚さが0.5nmから10nmの間であり、前記窒化インジウム・ガリウム障壁層の厚さが5nmから100nmの間であることを特徴とする請求項23に記載の白色発光ダイオード。

【請求項26】 基板と、該基板上に形成され、上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された緩衝層と、該緩衝層の第1ゾーン上に形成されたn型半導体材料と、該n型半導体材料上に形成され、波長が約570nmから650nmの黄色光又は赤色光を発することのできる第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造と、

該第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造上に形成され、波長が約500nmから555nmの緑色光を発することのできる第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造と、

該第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造上に形成され、波長が約370nmから500nmの青色光を発することのできる第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造と、

該第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造上に形成された第1のp型半導体材料と、

該第1のp型半導体材料上に形成され、且つ該第1のp型半導体材料を完全には覆わない第2のp型半導体材料と、

該第2のp型半導体材料上に形成された第1の電極と、前記緩衝層の第2ゾーン上に形成され、且つ該第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極とからなることを特徴とする白色発光ダイオード。

【請求項27】 前記緩衝層が窒化ガリウム緩衝層であることを特徴とする請求項26に記載の白色発光ダイオード。

【請求項28】 前記n型半導体材料がn型窒化アルミニウム・ガリウムであることを特徴とする請求項26に記載の白色発光ダイオード。

【請求項29】 前記第1のp型半導体材料がp型窒化アルミニウム・ガリウムであることを特徴とする請求項26に記載の白色発光ダイオード。

【請求項30】 前記第2のp型半導体材料がp型窒化ガリウムであることを特徴とする請求項26に記載の白色発光ダイオード。

【請求項31】 前記第1の量子井戸構造、第2の量子井戸構造及び第3の量子井戸構造がすべて窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造であり、且つ各窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造がすべて、少なくとも、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層一層と該窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側に位置する窒化インジウム・ガリウム障壁層とからなることを特徴とする請求項26に記載の白色発光ダイオード。

【請求項32】 前記n型窒化アルミニウム・ガリウムの化学式が $A_1, Ga_{1-x}N$ で表わされ、且つ $1 \geq x > 0$ であることを特徴とする請求項28に記載の白色発光ダイオード。

【請求項33】 前記p型窒化アルミニウム・ガリウムの化学式が $A_1, Ga_{1-y}N$ で表わされ、且つ $1 \geq y > 0$ であることを特徴とする請求項29に記載の白色発光ダイオード。

【請求項34】 前記第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造のうち、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の化学式が $I_n, Ga_{1-z}N$ で表わされ、窒化インジウム・ガリウム障壁層の化学式が $I_n, Ga_{1-y}N$ で表わされ、且つ $1 \geq z > y \geq 0$ であることを特徴とする

請求項31に記載の白色発光ダイオード。

【請求項35】 前記第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造のうち、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の化学式が  $I_n, Ga_{1-n}$ 、Nで表わされ、窒化インジウム・ガリウム障壁層の化学式が  $I_n, Ga_{1-n}$ 、Nで表わされ、且つ  $1 \geq n > m \geq 0$  であることを特徴とする請求項31に記載の白色発光ダイオード。

【請求項36】 前記第3窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造のうち、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の化学式が  $I_n, Ga_{1-n}$ 、Nで表わされ、窒化インジウム・ガリウム障壁層の化学式が  $I_n, Ga_{1-n}$ 、Nで表わされ、且つ  $1 \geq q > p \geq 0$  であることを特徴とする請求項31に記載の白色発光ダイオード。

【請求項37】 前記第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層、第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層及び第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の厚さがすべて0.5nmから10nmの間であり、且つ前記第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層、第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層及び第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の障壁層の厚さがすべて5nmから100nmの間であることを特徴とする請求項31に記載の白色発光ダイオード。

【請求項38】 基板と、該基板上に形成され、上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された緩衝層と、該緩衝層の第1ゾーン上に形成されたn型半導体材料と、

該n型半導体材料上に形成され、発光スペクトルの波長ピークの波長が長いものから順に成長させた複数組の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造と、

前記複数組の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造上に形成された第1のp型半導体材料と、

前記第1のp型半導体材料上に形成され、且つ該第1のp型半導体材料を完全には覆わない第2のp型半導体材料と、

前記第2のp型半導体材料上に形成された第1の電極と、

前記緩衝層の第2ゾーン上に形成され、且つ該第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極とからなることを特徴とする白色発光ダイオード。

【請求項39】 前記複数組の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造のうち、各窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造がすべて、少なくとも、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層一層と、該窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側に位置する窒化インジウム・ガリウム障壁層とからなることを特徴とする請求項38に記載の白色発光ダイオード。

【請求項40】 前記複数組の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造の数が約3組から30組であることを特徴とする請求項38に記載の白色発光ダイオード。

【請求項41】 前記複数組の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造の数が15組を最適とすることを特徴とする請求項38に記載の白色発光ダイオード。

ム量子井戸構造の数が15組を最適とすることを特徴とする請求項38に記載の白色発光ダイオード。

【請求項42】 前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の厚さがすべて0.5nmから10nmの間であり、前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の窒化インジウム・ガリウム障壁層の厚さがすべて5nmから100nmの間であることを特徴とする請求項39に記載の白色発光ダイオード。

【請求項43】 前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層のインジウム含有量が該窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側の前記窒化インジウム・ガリウム障壁層のインジウム含有量よりも大きいことを特徴とする請求項39に記載の白色発光ダイオード。

【請求項44】 ①基板を提供し、  
②該基板上に、第1のn型半導体材料、第2のn型半導体材料及びp型半導体材料を順に成長させて白色発光ダイオードの構造を形成し、  
③前記p型半導体材料及び第2のn型半導体材料に局部的にエッチングを施し、第2のn型半導体材料が第1のn型半導体材料を完全には覆わないようにし、  
④前記p型半導体材料及び第1のn型半導体材料上にそれぞれ第1の電極と第2の電極をメッキするとともに、前記第1の電極がp型半導体材料を完全には覆わないよう、また前記第2の電極が第1のn型半導体材料を完全には覆わないように配置する、ことを特徴とする白色発光ダイオードの製造方法。

【請求項45】 前記半導体材料として窒化ガリウムを使用できることを特徴とする請求項44に記載の製造方法。

【請求項46】 前記第1のn型窒化ガリウムの代わりにn型窒化アルミニウム・ガリウムを使用でき、また前記p型窒化ガリウムの代わりにp型窒化アルミニウム・ガリウムを使用できることを特徴とする請求項45に記載の製造方法。

【請求項47】 ①基板を提供し、  
②該基板上に、緩衝層、第1のn型半導体材料、第2のn型半導体材料、第1のp型半導体材料及び第2のp型半導体材料を順に成長させて白色発光ダイオードの構造を形成し、  
③前記第2のp型半導体材料、第1のp型半導体材料、第2のn型半導体材料及び第1のn型半導体材料に局部的にエッチングを施し、前記第1のn型半導体材料が前記緩衝層を完全には覆わないようにし、  
④前記第2のp型半導体材料及び緩衝層の上にそれぞれ第1の電極と第2の電極をメッキするとともに、前記第2のp型半導体材料と第1の電極が前記第1のp型半導体材料を完全には覆わないよう、前記第2の電極が前記緩衝層を完全には覆わないように配置する、ことを特徴とする白色発光ダイオードの製造方法。

【請求項48】 前記緩衝層が窒化ガリウムを材料とし

て形成されることを特徴とする請求項 4 7 に記載の製造方法。

【請求項 4 9】 前記第 1 の n 型半導体材料が n 型窒化アルミニウム・ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項 4 7 に記載の製造方法。

【請求項 5 0】 前記第 2 の n 型半導体材料が n 型窒化ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項 4 7 に記載の製造方法。

【請求項 5 1】 前記第 1 の p 型半導体材料が p 型窒化アルミニウム・ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項 4 7 に記載の製造方法。

【請求項 5 2】 前記第 2 の p 型半導体材料が p 型窒化ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項 4 7 に記載の製造方法。

【請求項 5 3】 ①基板を提供し、

②該基板上に緩衝層、 n 型半導体材料、第 1 の量子井戸構造、第 2 の量子井戸構造、第 1 の p 型半導体材料及び第 2 の p 型半導体材料を順に成長させて白色発光ダイオードの構造を形成し、

③前記第 2 の p 型半導体材料、第 1 の p 型半導体材料、第 2 の量子井戸構造、第 1 の量子井戸構造及び n 型半導体材料に局部的にエッティングを施し、 n 型半導体材料が前記緩衝層を完全には覆わないようにし、

④前記第 2 の p 型半導体材料及び緩衝層の上にそれぞれ第 1 の電極と第 2 の電極をメッキするとともに、前記第 2 の p 型半導体材料と第 1 の電極が前記第 1 の p 型半導体材料を完全には覆わないように、前記第 2 の電極が前記緩衝層を完全には覆わないように配置する、ことを特徴とする白色発光ダイオードの製造方法。

【請求項 5 4】 前記第 2 の量子井戸構造を成長させた後、第 1 の p 型半導体材料を成長させる前に、第 3 の量子井戸構造を成長させる段階を経ることを特徴とする請求項 5 3 に記載の製造方法。

【請求項 5 5】 前記緩衝層が窒化ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項 5 3 に記載の製造方法。

【請求項 5 6】 前記 n 型半導体材料が n 型窒化アルミニウム・ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項 5 3 に記載の製造方法。

【請求項 5 7】 前記第 1 の p 型半導体材料が p 型窒化アルミニウム・ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項 5 3 又は請求項 5 4 に記載の製造方法。

【請求項 5 8】 前記第 2 の p 型半導体材料が p 型窒化ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項 5 3 に記載の製造方法。

【請求項 5 9】 前記量子井戸構造が窒化インジウム・ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項 5 3 に記載の製造方法。

【請求項 6 0】 前記第 3 の量子井戸構造を成長させた

後、第 1 の p 型半導体材料を成長させる前に、複数組の量子井戸構造を成長させる段階を経、且つ前記の量子井戸構造において発光スペクトルの波長ピークの波長が長いものから順に成長させることを特徴とする請求項 5 4 に記載の製造方法。

【請求項 6 1】 成長させる量子井戸構造の数が約 3 組から 30 組の間であり、且つ各量子井戸構造がすべて、少なくとも、量子井戸層一層と該量子井戸層の両側に位置する障壁層とからなることを特徴とする請求項 6 0 に記載の製造方法。

【請求項 6 2】 前記量子井戸構造がすべて窒化インジウム・ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項 6 1 に記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明が属する技術分野】 本発明は、発光ダイオード及びその製造方法、特に複数のエネルギー・ギャップを有する白色発光ダイオードの構造及び製造方法に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】 従来の発光ダイオードは単一波長ピークと狭い半値幅を発光特性としており、そのため発光ダイオードの発する光はすべて純粋な単色光であった。例えば、砒素・アルミニウム・ガリウムの発光ダイオードは赤色光を発光し、燐・ガリウムの発光ダイオードは緑色光を発光する。そのほかにも、他の材料を使用したり、あるいは同一材料で組成比の異なるものを使用することによって、色や光度の異なる発光ダイオードを製造することができる。例えば、燐・砒素・ガリウムの燐と砒素の組成比、あるいは燐化アルミニウム・ガリウム・インジウムのアルミニウム・ガリウム、インジウムの組成比を調整することにより、赤・黄・緑三色を含む高光度の発光ダイオードを製造することができる。しかし上述の各種材料によって組成され、選択された構造及び製造方法を利用して作られた発光ダイオードは、すべて純粋な（半値幅の狭い）単色光（単一波長ピーク）だけを発するものである。

【0 0 0 3】 実際に応用する場合、材料・色ともに異なる 2 種類の発光ダイオードを組み合わせることができ。例えば、単色の赤色発光ダイオード (R) と単色の緑色発光ダイオード (G) を組み合わせ、赤色発光ダイオードと緑色発光ダイオードの発光強度比を調整し、この 2 色の光を混合させて多色の発光ダイオード光標示板を作ることができる。あるいは、材料・色ともに異なる 3 種類の発光ダイオードを組み合わせても良く、例えば、単色の赤色発光ダイオード (R) と、単色の緑色発光ダイオード (G) 、単色の青色発光ダイオード (B) とを組み合わせ、この 3 色の発光ダイオード (R, G, B) の発光強度比を調整することにより、すべての色の発光ダイオード光標示板を作ることができる。また、前

述の全色発光可能な発光ダイオード光標示板は白色光の合成も可能であるため、発光ダイオードは、指示信号や情報標示板以外に照明にも応用することができる。

【0004】図8は日本日亜化工が製造した白色発光ダイオード（型番号NLK2015）の平面図であるが、図から、各画素10が2個の赤色発光ダイオード（R）と、2個の緑色発光ダイオード（G）と、1個の青色発光ダイオード（B）とから成っていることがわかる。このため、この種の白色発光ダイオードの製造コストは相当高くつく。その上、3色の発光ダイオードを別々に調整することに加えて電流で赤・緑・青3色の単色発光ダイオードの光強度を調節することにより白色光を合成するため、少なくとも4つの電極端子を用意する必要があり、駆動システムの設計が非常に複雑になる。その上、もし5個の発光ダイオードの1つが他の発光ダイオードより早く劣化した場合には、製品の色平衡が失われることになる。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】そこで日亜化工は、コスト削減ため、R・G・B3色の発光ダイオードを組み合わせる必要のない白色発光ダイオード電球を開発した。この白色発光ダイオード電球は、図9に示されるように、窒化ガリウム・インジウム／窒化ガリウムの青色発光ダイオード・ダイ12と蛍光材料14とを組み合わせたもので、先ず発光ダイオード・ダイ12を金属架台15aの上に載置し、同時に発光ダイオード・ダイ12の表面にある電極をもう一方の金属架台15bに接続し、次に蛍光材料14で金属15a上の凹型槽を満たし、最後にカバー材料16で発光ダイオード・ダイ12を金属架台15a、15bの頭部とともに覆い、固定する。その原理は、青色発光ダイオード・ダイが発する青色光で蛍光材料を触発して半値幅のより広い黄色の光線を発生させ、元の青色光と混合させることにより白色光を合成するというものである。この方法を使用すれば、製造コストを大幅に下げ、駆動システムを簡略化することができる。しかし、蛍光材料の寿命は僅か約5000～10000時間であり、発光ダイオード自身の寿命100000時間に比べ遙かに短いため、白色発光ダイオードの寿命もまた制限されることになる。

【0006】本発明は、上記従来の問題点に鑑み、従来技術の欠点を改善するため、複数のエネルギーギャップを有し、単体で白色光を発光することができる白色発光ダイオードおよびその製造方法を提供することを目的とするものである。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は上記の目的を達成するために、基板と、該基板上に形成され上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された第1のn型半導体材料層と、該第1のn型半導体材料層上に形成された第2のn型半導体材料層と、該第2のn型半導体材料層上に

形成されたp型半導体材料と、該p型半導体材料上に形成され、且つ該p型半導体材料を完全には覆わない第1の電極と、該第1のn型半導体材料の第2ゾーン上に形成され、且つ該第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極とからなり、前記第1の電極と第2の電極に電流を流したとき、前記第2のn型半導体材料層とp型半導体材料の界面から発せられるスペクトルが2種類の波長ピークを有する白色発光ダイオードの構成とした。

【0008】また本発明においては、①基板を提供し、  
10 ②該基板上に第1のn型半導体材料、第2のn型半導体材料及びp型半導体材料を順に成長させて白色発光ダイオードの構造を形成し、③前記p型半導体材料及び第2のn型半導体材料に局部的にエッティングを施し、第2のn型半導体材料が第1のn型半導体材料を完全には覆わないようにし、④前記p型半導体材料及び第1のn型半導体材料上にそれぞれ第1の電極と第2の電極をメッキするとともに、前記第1の電極がp型半導体材料を完全には覆わないように、また前記第2の電極が第1のn型半導体材料を完全には覆わないように配置して白色発光ダイオードを製造するようにした。

【0009】本発明が使用する方法は主に、エピタキシャル成長を利用してpn接合ダイオードを形成する際の温度、圧力、アンモニア流量、キャリアガス（水素と窒素）の成分比例を調整し、或いはマグネシウム、珪素等の不純物を加えることにより、特定のパラメータの範囲内で、pn接合ダイオードの接合面の発光スペクトルに波長ピークを2つ発生させるというものである。波長ピークの発光波長及び強度を制御することにより、白色光を合成することができる。

【0010】本発明はまた、pn接合ダイオードの構造のなかに量子井戸構造を成長させ、エピタキシャル成長を行う際のパラメータを調整することにより各量子井戸の発光スペクトルにそれぞれ異なる波長ピークを発生させ、2つ又は3つの異なる波長ピークを組み合わせて白色光を合成することもできる。

#### 【0011】

【発明の実施の形態】本発明の構造、特徴及び長所を一層明らかにするため、以下に本発明を好ましい実施例について詳細に説明する。

#### 【0012】

【実施例】本発明による白色発光ダイオードは主に、1つの発光ダイオードから2種類以上の波長ピークを発生させることにより白色光を合成するものである。基本的に、2種類の異なる波長ピークを用いて白色光を合成する場合は、一般には波長が約430nmの青色光と波長が約560nmの黄色光が採用される。3種類の異なる波長ピークを用いて白色光を合成する場合は、一般に波長が約370nm～500nmの青色光と、波長が約500nm～560nmの緑色光と波長が約620nm～700nmの赤色光が採用される。要するに、どのよう

な合成方式を採用したとしても、必ず青色光あるいは青色光より波長の短い光を基準として含んでいかなくてはならない。

#### 実施例 1

本発明による白色発光ダイオードの製造方法は以下のとおりである。

【0013】図1 (a) に示されるように、エピタキシャル成長技術（例えば有機金属気相エピタキシー、MOPVE等の方法）を利用し、基板（例えばサファイアの基板）20の上に、第1のn型窒化ガリウム(GaN)22、第2のn型窒化ガリウム24、p型窒化ガリウム26を順次にエピタキシャル成長させる。

【0014】次いで図1 (b) に示されるように、ホトリソグラフィ技術及びエッティング技術を利用して、第2のn型窒化ガリウム24及びp型窒化ガリウム層26の一部を除去し、そして前述のp型窒化ガリウム26及び第2のn型窒化ガリウム24の上にそれぞれ第1の電極28a及び第2の電極28bを形成する。

【0015】上述のエピタキシャル成長の過程では、温度、圧力、アンモニア(NH<sub>3</sub>)流量、キャリアガス(水素と窒素)の成分比を調整し、あるいはマグネシウム、珪素等の不純物を加え、各種パラメータを調整することにより、エピタキシャル層22、24、26にそれぞれ異なるエネルギーギャップを生じさせることができ、特にエピタキシャル層24と26との界面付近では、外から電流を加えた際に発生する発光スペクトルは波長ピークを2つ有し、それぞれ波長が370nm～450nm程度の青色光と波長が500nm～600nm程度の黄色光に区別される。

#### 実施例 2

前述の図1 (b) で説明した白色発光ダイオードは、エピタキシャル層が窒化ガリウムで構成された同質構造（ホモエピタキシー）であった。本発明の実施例2は、窒化ガリウムの代わりに窒化アルミニウム・ガリウムを利用し、異質構造（ヘテロエピタキシー）を形成したものである。

【0016】図2に示されるように、その構造は、基板30と、この基板30上に形成され、上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区別されたn型窒化アルミニウム・ガリウム32と、このn型窒化アルミニウム・ガリウム32の第1ゾーン上に形成されたn型窒化ガリウム34と、このn型窒化ガリウム34上に形成されたp型窒化アルミニウム・ガリウム36と、このp型窒化アルミニウム・ガリウム36上に形成され且つp型窒化アルミニウム・ガリウム36を完全には覆わない第1の電極38aと、さらに前述のn型窒化アルミニウム・ガリウム32の第2ゾーン上に形成され且つこの第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極38bとからなる。

【0017】上述した実施例2により成長させたエピタキシャル層は、特定のパラメータの範囲内において、そ

の発光スペクトルが青色光(B)及び黄色光(Y)の2つの波長ピークを有するものであり、この発光ダイオードが発する光線の色はこの2種類の彩色光を混合したもので、その混合比を適当に制御することにより白色光を合成することができる。実施例2におけるn型窒化ガリウムを発光活性層とするヘテロエピタキシー構造は、白色発光ダイオードの発光効率を高めることができる。また、この構造では、発光活性層の中にインジウムが全く含まれず、窒化ガリウムのみで白色発光ダイオードを製造することができる。しかも、窒化アルミニウム・ガリウムの格子定数は窒化ガリウムのそれと大きく変わらないため、エピタキシャル成長の際の温度も窒化ガリウムと同じでよく、従ってこの実施例の構造は発光効率を高めるほか結晶欠陥を少なく抑えることができるものである。

#### 実施例 3

実施例3は、実施例2の構造に窒化ガリウム緩衝層及びp型窒化ガリウムを加えたもので、そうすることによりエピタキシャル層の品質及び発光輝度を高め、印加電圧を小さくし、使用寿命を伸ばすことのできるものである。

【0018】図3に示されるように、その構造は、基板40と、この基板40上に形成され上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区別される窒化ガリウム緩衝層41と、この窒化ガリウム緩衝層41の第1ゾーン上に形成されたn型窒化アルミニウム・ガリウム42と、この窒化アルミニウム・ガリウム42上に形成されたn型窒化ガリウム43と、このn型窒化ガリウム43上に形成されたp型窒化アルミニウム・ガリウム44と、このp型窒化アルミニウム・ガリウム44上に形成され且つp型窒化アルミニウム・ガリウム44を完全には覆わないp型窒化ガリウム45と、このp型窒化ガリウム45上に形成された第1の電極48aと、この窒化ガリウムの緩衝層41の第2ゾーン上に形成され且つ第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極48bとからなる。

#### 実施例 4

上に挙げた本発明の実施例3は、エピタキシャル成長のパラメータを制御することにより各エピタキシャル層間で異なるエネルギーギャップ差を生じさせ、発光スペクトルに異なる波長ピークを発生させるものである。一方以下に挙げる実施例では、発光ダイオードの中に量子井戸構造を製造し、上述した実施例と同様、量子井戸をエピタキシャル成長させる際のパラメータを調整することにより、各量子井戸に波長のそれぞれ異なる光を発生させることができる。

【0019】図4に示されるように、実施例4は2組の量子井戸を活性発光層とするもので、基板50と、この基板50上に形成され上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された窒化ガリウム緩衝層52と、この窒化ガリウム緩衝層52の第1ゾーン上に形成されたn型窒化ア

ルミニウム・ガリウム 5 4 と、この n 型窒化アルミニウム・ガリウム 5 4 の上に形成され、波長が約 550 nm ~ 620 nm の黄色光を発することのできる第 1 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 5 5 と、この第 1 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 5 5 上に形成され、波長が約 370 nm ~ 500 nm の青色光を発することのできる第 2 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 5 6 と、この第 2 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 5 6 の上に形成された p 型窒化アルミニウム・ガリウム 5 7 と、この p 型窒化アルミニウム・ガリウム 5 7 の上に形成され且つ p 型窒化アルミニウム・ガリウム 5 7 を完全には覆わない p 型窒化ガリウム 5 8 と、この p 型窒化ガリウム 5 8 上に形成された第 1 の電極 5 9 a と、窒化ガリウム緩衝層 5 2 の第 2 ゾーン上に形成され且つ第 2 ゾーンを完全には覆わない第 2 の電極 5 9 b とかなる。

【 0020 】 第 1 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 5 5 は、厚さが約 10 nm から 0.5 nm の間の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 5 5 b と、厚さが約 100 nm から 5 nm の間で、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 5 5 b の両側にある窒化インジウム・ガリウム障壁層 5 5 a 及び 5 5 c とかなる。同様に、第 2 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 5 6 もまた、厚さが約 10 nm から 0.5 nm の間の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 5 6 b と、厚さが約 100 nm から 5 nm の間で、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 5 6 b の両側にある窒化インジウム・ガリウム障壁層 5 6 a 及び 5 6 c とかなる。そのうち、窒化インジウム・ガリウム障壁層 5 5 a 及び 5 5 c の化学式は  $I_n, Ga_{1-y}N$  、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 5 5 b の化学式は  $I_n, Ga_{1-z}N$  で表わされ、窒化インジウム・ガリウム障壁層 5 6 a 及び 5 6 b の化学式は  $I_n, Ga_{1-m}N$  、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 5 6 b の化学式は  $I_n, Ga_{1-n}N$  で表わされ、また n 型窒化アルミニウム・ガリウム 5 4 及び p 型窒化アルミニウム・ガリウム 5 7 の化学式はすべて  $A_1, Ga_{1-x}N$  で表わされる。ただし、 $1 \geq x > 0$  、 $1 \geq z > y \geq 0$  、 $1 \geq n > m \geq 0$  である。第 2 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 5 6 は波長が比較的短い青色光を発し、第 1 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 5 5 は波長の比較的長い黄色光を発するが、これは第 1 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 5 5 が発した光が第 2 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 5 6 に吸収されるのを防ぐためである。

#### 実施例 5

白色発光ダイオードの発光輝度を高め且つ各波長ピークの強度調整を可能にするため、図 5 に示されるように、実施例 5 は実施例 4 と同様の製造過程及びパラメータを採用しているが、第 1 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 5 5 と第 2 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 5 6

10

20

30

40

50

戸構造 5 6 の中の量子井戸の数を増やしてある。また、図 5 の中で、図 4 と同じ符号で表わされているものは同じ構成要素を示しており、ここでは重複した説明を避けることとする。

#### 実施例 6

上述した実施例 4 及び実施例 5 は、いずれも発光スペクトルにおける青色光及び黄色光の範囲内の 2 つの波長ピークを利用して白色光を合成しているが、そのほかにも青色光、緑色光及び赤色光の範囲内の 3 つの波長ピークを利用して白色光を合成することができる。したがって、実施例 6 は 3 組の量子井戸構造を備えており、図 6 に示されるように、その構造は、基板 6 0 と、この基板 6 0 上に形成され上部が第 1 ゾーンと第 2 ゾーンとに区分された窒化ガリウム緩衝層 6 1 と、この窒化ガリウム緩衝層 6 1 の第 1 ゾーン上に形成された n 型窒化アルミニウム・ガリウム 6 2 と、この n 型窒化アルミニウム・ガリウム 6 2 上に形成され、波長が約 570 nm から 640 nm の黄色光或いは赤色光を発することができる第 1 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 6 3 と、この第 1 窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 6 3 上に形成され、波長が約 500 nm から 555 nm の緑色光を発することのできる第 2 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 6 4 と、この第 2 窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 6 4 上に形成され、波長が約 370 nm から 500 nm の青色光を発することのできる第 3 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 6 5 と、この第 3 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 6 5 上に形成された p 型窒化アルミニウム・ガリウム 6 6 と、この p 型窒化アルミニウム・ガリウム 6 6 上に形成された p 型窒化ガリウム 6 7 と、この p 型窒化ガリウム 6 7 上に形成された第 1 の電極 6 8 a と、この窒化ガリウム緩衝層 6 1 の第 2 ゾーン上に形成され且つ第 2 ゾーンを完全には覆わない第 2 の電極 6 8 b とかなる。

【 0021 】 第 1 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 6 3 は、厚さが約 10 nm から 0.5 nm の間の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 6 3 b と、厚さが約 100 nm から 5 nm の間で、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 6 3 b の両側にある窒化インジウム・ガリウム障壁層 6 3 a 及び 6 3 b とかなる。同様に、第 2 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 6 4 は、厚さが約 10 nm から 0.5 nm の間の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 6 4 b と、厚さが約 100 nm から 5 nm の間で、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 6 4 b の両側にある窒化インジウム・ガリウム障壁層 6 4 a 及び 6 4 c とかなる。また、前述の第 3 の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 6 5 は、厚さが約 10 nm から 0.5 nm の間の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 6 5 b と、厚さが約 100 nm から 5 nm の間で、窒化インジウム・ガリウムの量子井戸層 6 5 b の両側にある窒化インジウム・ガリウム障壁層 6 5 a 及び 6 5 c

とからなる。そのうち、窒化インジウム・ガリウム障壁層63a、63cの化学式はIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nで表わされ、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層63bの化学式はIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nで表わされ、窒化インジウム・ガリウム障壁層64a、64cの化学式はIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nで表わされ、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層64bの化学式はIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nで表わされ、窒化インジウム・ガリウム障壁層65a、65cの化学式はIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nで表わされ、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層65bの化学式はIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nで表わされ、n型窒化アルミニウム・ガリウム62及びp型窒化アルミニウム・ガリウム66の化学式はともにAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nで表わされる。ただし、1≥x>0、1≥z>y≥0、1≥n>m≥0、1≥q>p≥0である。第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造65は波長が比較的短い青色光を発し、第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造64は波長が比較的長い緑色光を発し、第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造63は更に波長が長い赤色光を発するが、これは第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造63から発せられる光が第2窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造64及び第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造65に吸収されたり、或いは第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造64から発せられた光が第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造65に吸収されるのを防ぐためである。

## 実施例7

前述した実施例4および実施例5の関係と同様に、白色発光ダイオードの発光輝度を高め、且つ各波長ピークの強度調整を可能にするため、実施例7では、図7に示されるように、実施例6と同様な製造過程及びパラメータを採用しているが、第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造63、第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造64及び第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造65の中の量子井戸の数を増やし、各組とも複数の量子井戸を含むようにしている。

【0022】もちろん、量子井戸構造の数は上述した方法のような2組或いは3組のみに限らず、3組よりも多くても構わない。各量子井戸構造が特定の波長の光を発することができ、同時に発光スペクトルの波長ピークの波長が長いものから順に成長させるという条件を満足してさえいれば、発光スペクトルが可視光領域の全スペクトルを含む白色発光ダイオードを得ることができる。また、各量子井戸構造中の量子井戸の数を変えることにより各波長の強度を変動させ、各種スペクトル形態を備えた全スペクトル発光ダイオードを得ることができる。しかしながら、実際の応用と製作上の問題を考慮すると、量子井戸構造の数は30組を超える必要はないと考えられ、また、発光ダイオードの最も好ましい実施態様における量子井戸構造は15組である。

【0023】上述した各実施例の中で言及したエピタキシャル成長のパラメータの制御に関しては、有機金属気相エピキタシーの製造工程を例に挙げると、本発明の使用するパラメータのおおよその範囲は以下のとおりである。エピタキシャル成長温度は約900℃から1200℃の間、エピタキシャル成長圧力は約20mbから1000mb、アンモニア(NH<sub>3</sub>)流量は約0.5slmから20slm、トリメチルガリウム(TMG)流量は約2scmから100scmで、添加する不純物は亜鉛(Zn)、マグネシウム(Mg)、炭素(C)、水銀(Hg)、カドミウム(Cd)、ベリリウム(Be)、珪素(Si)、硫黄(S)、セレン(Se)等で、上述した実施例において使用したマグネシウムに関して言えば、不純物の添加濃度は約1×10<sup>-7</sup>から1×10<sup>-9</sup>cm<sup>-3</sup>である。

【0024】さらに、前述した実施例はすべて、窒化ガリウム材料と窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造を用いて説明したが、実際は他のIV-IV族、III-V族或いはII-VI族の半導体材料を採用して白色発光ダイオードを製造することもできる。例えば、炭化珪素(Si)、窒化アルミニウム(AlN)、窒化硼素(BN)、セレン化亜鉛(ZnSe)、セレン・硫化亜鉛(ZnSeS)等が挙げられる。

## 【0025】

【発明の効果】本発明は、複数の発光ダイオードを組み合わせる必要がなく、白色発光ダイオード単体で白色光を発光することができる。したがって生産コストを大幅に低減することができると同時に包装及び回路制御、設計も楽になる。また、蛍光材料と合体させる必要がなく、したがって蛍光材料との合体による短寿命化の問題のない長寿命の白色発光ダイオードを提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】(a)および(b)は本発明による白色発光ダイオードの第1の実施例を示す製造工程を説明する断面図である。

【図2】本発明による白色発光ダイオードの第2の実施例の構造を示す断面図である。

【図3】本発明による白色発光ダイオードの第3の実施例の構造を示す断面図である。

【図4】本発明による白色発光ダイオードの第4の実施例の構造を示す断面図である。

【図5】本発明による白色発光ダイオードの第5の実施例の構造を示す断面図である。

【図6】本発明による白色発光ダイオードの第6の実施例の構造を示す断面図である。

【図7】本発明による白色発光ダイオードの第7の実施例の構造を示す断面図である。

【図8】従来知られた白色発光ダイオードの構造を示す平面図である。

【図9】従来知られた別の白色発光ダイオードの構造の

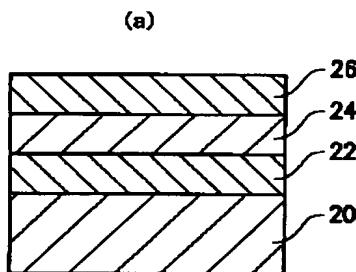
側面図である。

【符号の説明】

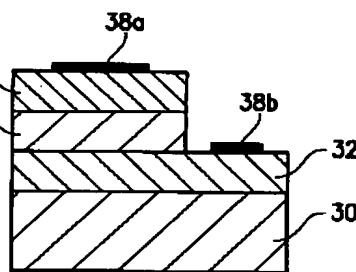
- 10 画素
- 12 ダイオード・ダイ
- 14 蛍光材料
- 15 a、15 b 金属架台
- 16 カバー材料
- 20、30、40、50、60 基板
- 22 第1のn型窒化ガリウム
- 24 第2のn型窒化ガリウム
- 26、45、58、67 p型窒化ガリウム
- 28 a、38 a、48 a、59 a、68 a 第1の電極
- 28 b、38 b、48 b、59 b、68 b 第2の電極
- 32、42、54、62 n型窒化アルミニウム・ガリウム

- 34、43 n型窒化ガリウム
- 36、44、57、66 p型窒化アルミニウム・ガリウム
- 41、52、61 窒化ガリウム緩衝層
- 55、63 第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造
- 55 b、56 b、63 b、64 b、65 b 窒化インジウム・ガリウム量子井戸層
- 55 a、55 c、56 a、56 c、63 a、63 c、610 5 a、65 c 窒化インジウム・ガリウム障壁層 5
- 6、64 第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造
- 64 a、64 c 窒化インジウム・ガリウム障壁層
- 65 第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造

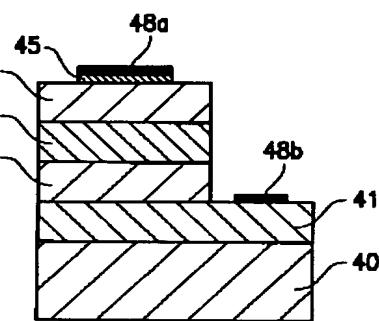
【図 1】



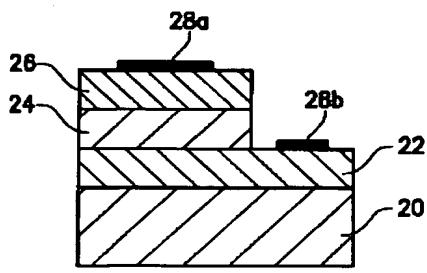
【図 2】



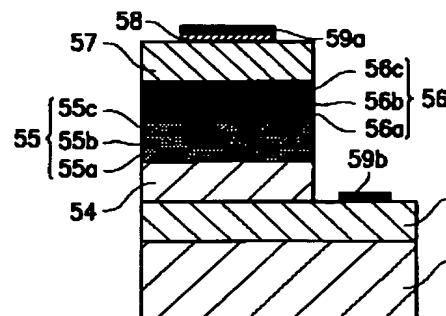
【図 3】



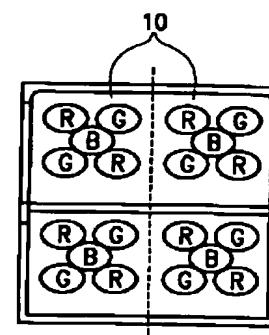
(b)



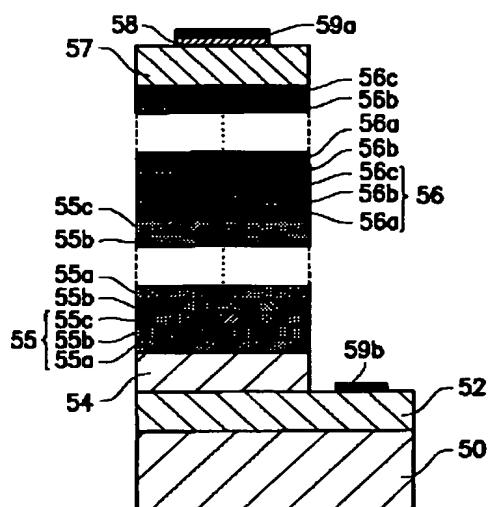
【図 4】



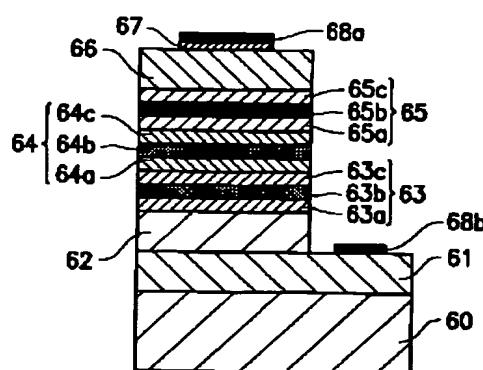
【図 8】



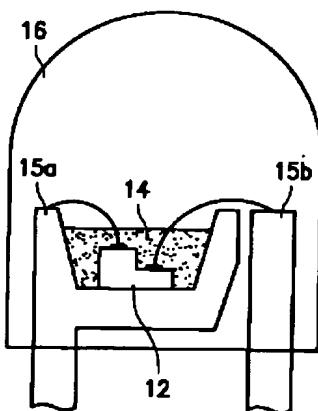
【図 5】



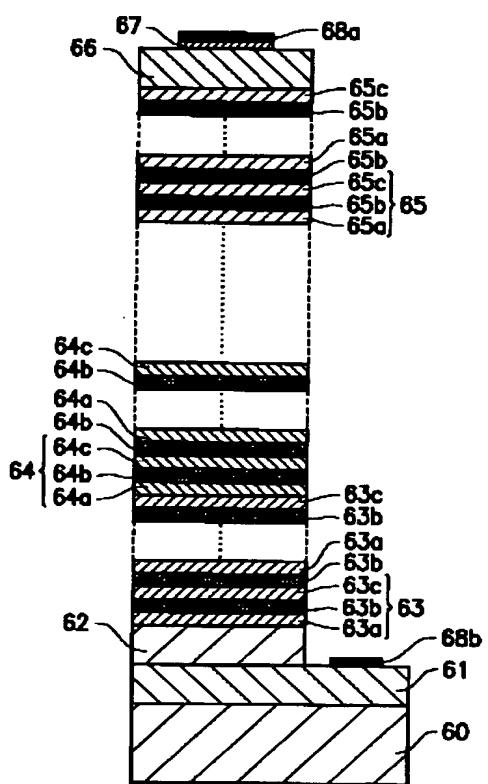
【図 6】



【図 9】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 林 耕華

台湾新竹市光明里 5 鄰光明新村 167-2 号  
5 楼

JAPANESE

[JP,11-135838,A]

---

CLAIMS DETAILED DESCRIPTION TECHNICAL FIELD PRIOR ART EFFECT OF THE INVENTION TECHNICAL PROBLEM MEANS  
EXAMPLE DESCRIPTION OF DRAWINGS DRAWINGS

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

## [Claim(s)]

[Claim 1] White light emitting diode with which a spectrum emitted from an interface of said 2nd n-type-semiconductor material layer and p type semiconductor material has two kinds of wavelength peaks, and is characterized by the white light being compoundable by that cause when it has the following and current is passed to said the 1st electrode and 2nd electrode. A substrate The 1st n-type-semiconductor material layer by which it was formed on this substrate and the upper part was classified into the 1st zone and the 2nd zone this -- the 2nd n-type-semiconductor material layer formed on the 1st n-type-semiconductor material layer this -- the 1st electrode which is formed on a p type semiconductor material formed on the 2nd n-type-semiconductor material layer, and this p type semiconductor material, and does not cover this p type semiconductor material completely -- this -- the 2nd electrode which is formed on the 2nd zone of the 1st n-type-semiconductor material, and does not cover this 2nd zone completely

[Claim 2] White light emitting diode according to claim 1 characterized by said both n-type-semiconductor materials and p type semiconductor materials being gallium nitride.

[Claim 3] White light emitting diode according to claim 2 characterized by the ability to use n mold aluminum nitride gallium instead of said 1st n mold gallium nitride, and use p mold aluminum nitride gallium instead of said p mold gallium nitride.

[Claim 4] White light emitting diode characterized by providing the following A substrate A buffer coat by which it was formed on this substrate and the upper part was classified into the 1st zone and the 2nd zone The 1st n-type-semiconductor material formed on the 1st zone of this buffer coat this -- the 2nd n-type-semiconductor material formed on the 1st n-type-semiconductor material -- this -- with the 1st p type semiconductor material formed on the 2nd n-type-semiconductor material this -- it forms on the 1st p type semiconductor material -- having -- and -- this -- the 2nd p type semiconductor material which does not cover the 1st p type semiconductor material completely -- this -- the 2nd electrode which is formed on the 1st electrode formed on the 2nd p type semiconductor material, and the 2nd zone of said buffer coat, and does not cover this 2nd zone completely

[Claim 5] White light emitting diode according to claim 4 characterized by said buffer coat being a gallium nitride buffer coat.

[Claim 6] White light emitting diode according to claim 4 characterized by said 1st n-type-semiconductor material being n mold aluminum nitride gallium.

[Claim 7] White light emitting diode according to claim 4 characterized by said 2nd n-type-semiconductor material being n mold gallium nitride.

[Claim 8] White light emitting diode according to claim 4 characterized by said 1st p type semiconductor material being p mold aluminum nitride gallium.

[Claim 9] White light emitting diode according to claim 4 characterized by said 2nd p type semiconductor material being p mold gallium nitride.

[Claim 10] White light emitting diode characterized by providing the following A substrate A buffer coat by which it was formed on this substrate and the upper part was classified into the 1st zone and the 2nd zone A n-type-semiconductor material formed on the 1st zone of this buffer coat The 1st quantum well structure where it is formed on this n-type-semiconductor material, and wavelength can emit about 550 to 620nm yellow light, this -- it being formed on the 1st quantum well structure, and with the 2nd quantum well structure where wavelength can emit about 370 to 500nm blue glow this -- the 1st p type semiconductor material formed on the 2nd quantum well structure -- this -- it forms on the 1st p type semiconductor material -- having -- and -- this -- with the 2nd p type semiconductor material which does not cover the 1st p type semiconductor material completely this -- the 2nd electrode which is formed on the 1st electrode formed on the 2nd p type semiconductor material, and the 2nd zone of said buffer coat, and does not cover this 2nd zone completely

[Claim 11] White light emitting diode according to claim 10 characterized by said buffer coat being a gallium nitride buffer coat.

[Claim 12] White light emitting diode according to claim 10 characterized by said n-type-semiconductor material being n mold aluminum nitride gallium.

[Claim 13] White light emitting diode according to claim 10 characterized by both said 1st quantum well structure and the 2nd quantum well structure being indium nitride gallium quantum well structures.

[Claim 14] White light emitting diode according to claim 10 characterized by said 1st p type semiconductor material being p mold aluminum nitride gallium.

[Claim 15] White light emitting diode according to claim 10 characterized by said 2nd p type semiconductor material being p mold gallium

nitride.

[Claim 16] White light emitting diode according to claim 12 which a chemical formula of said n mold aluminum nitride gallium is expressed with  $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ , and is characterized by being  $1 >= x > 0$ .

[Claim 17] White light emitting diode according to claim 14 which a chemical formula of said p mold aluminum nitride gallium is expressed with  $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ , and is characterized by being  $1 >= x > 0$ .

[Claim 18] White light emitting diode according to claim 13 characterized by said 1st indium nitride gallium quantum well structure consisting of an indium nitride gallium quantum well layer and an indium nitride gallium barrier layer located in both sides of this indium nitride gallium quantum well layer.

[Claim 19] White light emitting diode according to claim 13 characterized by said 2nd indium nitride gallium quantum well structure consisting of an indium nitride gallium quantum well layer and an indium nitride gallium barrier layer located in both sides of this indium nitride gallium quantum well layer.

[Claim 20] White light emitting diode according to claim 13 characterized by said 1st indium nitride gallium quantum well structure consisting of two or more indium nitride gallium quantum well layers and an indium nitride gallium barrier layer located in both sides of each indium nitride gallium quantum well layer.

[Claim 21] White light emitting diode according to claim 13 characterized by said 2nd indium nitride gallium quantum well structure consisting of two or more indium nitride gallium quantum well layers and an indium nitride gallium barrier layer located in both sides of each indium nitride gallium quantum well layer.

[Claim 22] White light emitting diode according to claim 18 or 20 which a chemical formula of said indium nitride gallium quantum well layer is expressed with  $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{N}$ , and a chemical formula of said indium nitride gallium barrier layer is expressed with  $\text{In}_y \text{Ga}_{1-y} \text{N}$ , and is characterized by being  $1 >= z > y > 0$ .

[Claim 23] White light emitting diode according to claim 19 or 21 which a chemical formula of said indium nitride gallium quantum well layer is expressed with  $\text{In}_n \text{Ga}_{1-n} \text{N}$ , and a chemical formula of said indium nitride gallium barrier layer is expressed with  $\text{In}_m \text{Ga}_{1-m} \text{N}$ , and is characterized by being  $1 >= n > m > 0$ .

[Claim 24] White light emitting diode according to claim 22 characterized by for thickness of said indium nitride gallium quantum well layer being for 0.5 to 10nm, and thickness of said indium nitride gallium barrier layer being for 5 to 100nm.

[Claim 25] White light emitting diode according to claim 23 characterized by for thickness of said indium nitride gallium quantum well layer being for 0.5 to 10nm, and thickness of said indium nitride gallium barrier layer being for 5 to 100nm.

[Claim 26] White light emitting diode characterized by providing the following A substrate A buffer coat by which it was formed on this substrate and the upper part was classified into the 1st zone and the 2nd zone A n-type-semiconductor material formed on the 1st zone of this buffer coat The 1st indium nitride gallium quantum well structure where it is formed on this n-type-semiconductor material, and wavelength can emit about 570 to 650nm yellow light, or red light, this -- it being formed on the 1st indium nitride gallium quantum well structure, and with the 2nd indium nitride gallium quantum well structure where wavelength can emit about 500 to 555nm green light this -- it being formed on the 2nd indium nitride gallium quantum well structure, and with the 3rd indium nitride gallium quantum well structure where wavelength can emit about 370 to 500nm blue glow this -- with the 1st p type semiconductor material formed on the 3rd indium nitride gallium quantum well structure this -- it forms on the 1st p type semiconductor material -- having -- and -- this -- the 2nd p type semiconductor material which does not cover the 1st p type semiconductor material completely -- this -- the 2nd electrode which is formed on the 1st electrode formed on the 2nd p type semiconductor material, and the 2nd zone of said buffer coat, and does not cover this 2nd zone completely

[Claim 27] White light emitting diode according to claim 26 characterized by said buffer coat being a gallium nitride buffer coat.

[Claim 28] White light emitting diode according to claim 26 characterized by said n-type-semiconductor material being n mold aluminum nitride gallium.

[Claim 29] White light emitting diode according to claim 26 characterized by said 1st p type semiconductor material being p mold aluminum nitride gallium.

[Claim 30] White light emitting diode according to claim 26 characterized by said 2nd p type semiconductor material being p mold gallium nitride.

[Claim 31] White light emitting diode according to claim 26 which all of said 1st quantum well structure, the 2nd quantum well structure, and the 3rd quantum well structure are indium nitride gallium quantum well structure, and is characterized by each indium nitride gallium quantum well structures of all consisting of one layer of indium nitride gallium quantum well layers, and an indium nitride gallium barrier layer located in both sides of this indium nitride gallium quantum well layer at least.

[Claim 32] White light emitting diode according to claim 28 which a chemical formula of said n mold aluminum nitride gallium is expressed with  $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ , and is characterized by being  $1 >= x > 0$ .

[Claim 33] White light emitting diode according to claim 29 which a chemical formula of said p mold aluminum nitride gallium is expressed with  $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ , and is characterized by being  $1 >= x > 0$ .

[Claim 34] White light emitting diode according to claim 31 which a chemical formula of an indium nitride gallium quantum well layer is expressed with  $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{N}$  among said 1st indium nitride gallium quantum well structure, and a chemical formula of an indium nitride gallium barrier layer is expressed with  $\text{In}_y \text{Ga}_{1-y} \text{N}$ , and is characterized by being  $1 >= z > y > 0$ .

[Claim 35] White light emitting diode according to claim 31 which a chemical formula of an indium nitride gallium quantum well layer is

expressed with  $\text{Inn Ga1-n N}$  among said 2nd indium nitride gallium quantum well structure, and a chemical formula of an indium nitride gallium barrier layer is expressed with  $\text{Inm Ga1-m N}$ , and is characterized by being  $1 >=n>m>=0$ .

[Claim 36] White light emitting diode according to claim 31 which a chemical formula of an indium nitride gallium quantum well layer is expressed with  $\text{Inq Ga1-q N}$  among said 3rd indium nitride gallium quantum well structures, and a chemical formula of an indium nitride gallium barrier layer is expressed with  $\text{Inp Ga1-p N}$ , and is characterized by being  $1 >=q>p>=0$ .

[Claim 37] White light emitting diode according to claim 31 characterized by for all thickness of said 1st indium nitride gallium quantum well layer, the 2nd indium nitride gallium quantum well layer, and the 3rd indium nitride gallium quantum well layer being for 0.5 to 10nm, and all thickness of a barrier layer of said 1st indium nitride gallium quantum well layer, the 2nd indium nitride gallium quantum well layer, and the 3rd indium nitride gallium quantum well layer being for 5 to 100nm.

[Claim 38] White light emitting diode characterized by providing the following A substrate A buffer coat by which it was formed on this substrate and the upper part was classified into the 1st zone and the 2nd zone A n-type-semiconductor material formed on the 1st zone of this buffer coat Two or more sets of indium nitride gallium quantum well structures where it is formed on this n-type-semiconductor material, and was made to grow up sequentially from what has long wavelength of a wavelength peak of an emission spectrum, Said 1st p type semiconductor material formed on indium nitride gallium quantum well structure of a group, [ two or more ] it forms on said 1st p type semiconductor material -- having -- and -- this -- the 2nd electrode which is formed on the 1st electrode formed on the 2nd p type semiconductor material which does not cover the 1st p type semiconductor material completely, and said 2nd p type semiconductor material, and the 2nd zone of said buffer coat, and does not cover this 2nd zone completely

[Claim 39] White light emitting diode according to claim 38 characterized by consisting [ two or more ] of said indium nitride gallium barrier layer to which all of each indium nitride gallium quantum well structure among indium nitride gallium quantum well structures of a group are located in both sides of one layer of indium nitride gallium quantum well layers, and this indium nitride gallium quantum well layer at least.

[Claim 40] White light emitting diode according to claim 38 with which the number of indium nitride gallium quantum well structures of a group is characterized by two or more said things [ that they are 30 sets ] from about 3 sets.

[Claim 41] White light emitting diode according to claim 38 characterized by said thing [ that the number of indium nitride gallium quantum well structures of a group makes two or more 15 sets the optimal ].

[Claim 42] White light emitting diode according to claim 39 characterized by for all thickness of said indium nitride gallium quantum well layer being for 0.5 to 10nm, and all thickness of an indium nitride gallium barrier layer of said indium nitride gallium quantum well layer being for 5 to 100nm.

[Claim 43] White light emitting diode according to claim 39 characterized by an indium content of said indium nitride gallium quantum well layer being larger than an indium content of said indium nitride gallium barrier layer of both sides of this indium nitride gallium quantum well layer.

[Claim 44] \*\* Offer a substrate, on \*\* this substrate, grow up the 1st n-type-semiconductor material, the 2nd n-type-semiconductor material, and a p type semiconductor material in order, and form structure of white light emitting diode. \*\* Etch into said p type semiconductor material and the 2nd n-type-semiconductor material locally. While it is made for the 2nd n-type-semiconductor material not to cover the 1st n-type-semiconductor material completely and it plates the 1st electrode and 2nd electrode, respectively on the \*\* aforementioned p type semiconductor material and the 1st n-type-semiconductor material It is the manufacture method of white light emitting diode characterized by what is arranged so that said 1st electrode may not cover a p type semiconductor material completely, and so that said 2nd electrode may not cover the 1st n-type-semiconductor material completely.

[Claim 45] A manufacture method according to claim 44 characterized by the ability to use gallium nitride as said semiconductor material.

[Claim 46] A manufacture method according to claim 45 characterized by the ability to use n mold aluminum nitride gallium instead of said 1st n mold gallium nitride, and use p mold aluminum nitride gallium instead of said p mold gallium nitride.

[Claim 47] A substrate is offered. On \*\* this substrate \*\* A buffer coat, the 1st n-type-semiconductor material, the 2nd n-type-semiconductor material, Grow up the 1st p type semiconductor material and the 2nd p type semiconductor material in order, and structure of white light emitting diode is formed. \*\* Etch into said 2nd p type semiconductor material, the 1st p type semiconductor material, the 2nd n-type-semiconductor material, and the 1st n-type-semiconductor material locally. While it is made for said 1st n-type-semiconductor material not to cover said buffer coat completely and it plates the 1st electrode and 2nd electrode, respectively on a p type semiconductor material of \*\* above 2nd, and a buffer coat It is the manufacture method of white light emitting diode characterized by what is arranged so that said the 2nd p type semiconductor material and 1st electrode may not cover said 1st p type semiconductor material completely, and said 2nd electrode may not cover said buffer coat completely.

[Claim 48] A manufacture method according to claim 47 characterized by forming said buffer coat considering gallium nitride as a material.

[Claim 49] A manufacture method according to claim 47 characterized by forming said 1st n-type-semiconductor material considering n mold aluminum nitride gallium as a material.

[Claim 50] A manufacture method according to claim 47 characterized by forming said 2nd n-type-semiconductor material considering n mold gallium nitride as a material.

[Claim 51] A manufacture method according to claim 47 characterized by forming said 1st p type semiconductor material considering p

mold\*aluminiūm nitride gallium as a material.

[Claim 52] A manufacture method according to claim 47 characterized by forming said 2nd p type semiconductor material considering p mold gallium nitride as a material.

[Claim 53] A substrate is offered. On \*\* this substrate \*\* A buffer coat, a n-type-semiconductor material, the 1st quantum well structure, Grow up the 2nd quantum well structure, the 1st p type semiconductor material, and the 2nd p type semiconductor material in order, and structure of white light emitting diode is formed. \*\* Said 2nd p type semiconductor material, the 1st p type semiconductor material, the 2nd quantum well structure, It etches into the 1st quantum well structure and n-type-semiconductor material locally. While it is made for a n-type-semiconductor material not to cover said buffer coat completely and it plates the 1st electrode and 2nd electrode, respectively on a p type semiconductor material of \*\* above 2nd, and a buffer coat It is the manufacture method of white light emitting diode characterized by what is arranged so that said the 2nd p type semiconductor material and 1st electrode may not cover said 1st p type semiconductor material completely, and said 2nd electrode may not cover said buffer coat completely.

[Claim 54] A manufacture method according to claim 53 characterized by passing through a phase of growing up the 3rd quantum well structure before growing up the 1st p type semiconductor material, after growing up said 2nd quantum well structure.

[Claim 55] A manufacture method according to claim 53 characterized by forming said buffer coat considering gallium nitride as a material.

[Claim 56] A manufacture method according to claim 53 characterized by forming said n-type-semiconductor material considering n mold aluminiūm nitride gallium as a material.

[Claim 57] A manufacture method according to claim 53 or 54 characterized by forming said 1st p type semiconductor material considering p mold aluminiūm nitride gallium as a material.

[Claim 58] A manufacture method according to claim 53 characterized by forming said 2nd p type semiconductor material considering p mold gallium nitride as a material.

[Claim 59] A manufacture method according to claim 53 characterized by forming said quantum well structure considering an indium nitride gallium as a material.

[Claim 60] A manufacture method according to claim 54 characterized by passing through a phase of growing up two or more sets of quantum well structures before growing up the 1st p type semiconductor material, after growing up said 3rd quantum well structure, and making it grow up in the aforementioned quantum well structure sequentially from what has long wavelength of a wavelength peak of an emission spectrum.

[Claim 61] A manufacture method according to claim 60 which the number of quantum well structures of making it growing up is for about 3 to 30 sets, and is characterized by each quantum well structures of all consisting of one layer of quantum well layers, and a barrier layer located in both sides of this quantum well layer at least.

[Claim 62] A manufacture method according to claim 61 characterized by forming said all quantum well structures considering an indium nitride gallium as a material.

---

[Translation done.]

JAPANESE

[JP,11-135838,A]

---

CLAIMS DETAILED DESCRIPTION TECHNICAL FIELD PRIOR ART EFFECT OF THE INVENTION TECHNICAL PROBLEM  
MEANS EXAMPLE DESCRIPTION OF DRAWINGS DRAWINGS

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to the structure and the manufacture method of white light emitting diode of having light emitting diode and its manufacture method, especially two or more energy gaps.

[0002]

[Description of the Prior Art] All the light that the conventional light emitting diode makes the luminescence property a single wavelength peak and narrow half-value width, therefore light emitting diode emits was the pure homogeneous lights. For example, the light emitting diode of arsenic and an aluminum gallium emits light in red light, and the light emitting diode of phosphorus and a gallium emits light in green light. The light emitting diode with which a color differs from luminous intensity can be manufactured by using other materials or using that from which a presentation ratio differs with the same material in addition to this. For example, the light emitting diode of the high luminous intensity containing red, yellow, and green 3 colors can be manufactured by adjusting the presentation ratio of the presentation ratio of the phosphorus of phosphorus, arsenic, and a gallium, and arsenic or the aluminum of an aluminum phosphide gallium indium, a gallium, and an indium. However, all the light emitting diodes that were composed and were made with various above-mentioned materials using the selected structure and the selected manufacture method emit only the pure (half-value width is narrow) homogeneous light (single wavelength peak).

[0003] When actually applying, two kinds of light emitting diodes with which a material differs from a color can be combined. For example, monochromatic red light emitting diode (R) and monochromatic green light emitting diode (G) can be combined, the luminescence intensity ratio of red light emitting diode and green light emitting diode can be adjusted, the light of these two colors can be mixed, and a multicolor light emitting diode light container reference plate can be made. Or the light emitting diode light container reference plate of all colors can be made by combining three kinds of light emitting diodes with which a material differs from a color, for example, combining the blue light emitting diode (B) of monochromatic red light emitting diode (R), monochromatic green light emitting diode (G), and monochrome, and adjusting the luminescence intensity ratio of the light emitting diode (R, G, B) of these three colors. Moreover, since composition of the white light is also possible for the light emitting diode light container reference plate in which all the above-mentioned color luminescence is possible, light emitting diode is applicable also to lighting in addition to an indication signal or an information container reference plate.

[0004] Although drawing 8 is the plan of the white light emitting diode (part number number NLK2015) which Japanese Japanese \*\*\*\*\* manufactured, drawing shows that each pixel 10 consists of two red light emitting diodes (R), two green light emitting diodes (G), and one blue light emitting diode (B). For this reason, the manufacturing cost of this kind of white light emitting diode is attached fairly highly. In order to compound the white light by adjusting the optical reinforcement of the monochrome light emitting diode of red, green, and blue 3 color with current in addition to moreover adjusting the light emitting diode of three colors separately, it is necessary to prepare at least four electrode terminals, and layout of a drive system becomes very complicated. When it moreover deteriorates earlier than the light emitting diode of everything but five light emitting diodes one, the color balance of a product will be lost.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Then, for the cost reduction reason, Japanese \*\*\*\*\* developed the white light emitting diode electric bulb without the necessity of combining the light emitting diode of R-G-B3 color. This white light emitting diode electric bulb is what combined the blue light emitting diode die 12 and the fluorescence material 14 of a gallium nitride indium / gallium nitride, as shown in drawing 9. Lay the light emitting diode die 12 on metal stand 15a first, and the electrode which is in coincidence on the surface of the light emitting diode die 12 is connected to another metal stand 15b. Next, the concave tub on metal 15a is filled with the fluorescence material 14, and finally, with the covering material 16, the light emitting diode die 12 is covered with the head of the metal stands 15a and 15b, and it fixes. The principle compounds the white light by touching off a fluorescence material by the blue glow which a blue light emitting diode die emits, generating the light of the larger yellow of half-value width, and making it mix with the original blue glow. If this method is used, lowering and a drive system can be sharply

simplified for a manufacturing cost. However, the life of a fluorescence material is small about 5000 - 10000 hours, and since it is far short compared with own life 100000 hours of light emitting diode, the life of white light emitting diode will also be restricted. [0006] In order that this invention may improve the defect of the conventional technology in view of the above-mentioned conventional trouble, it has two or more energy gaps, and aims at offering the white light emitting diode which can emit light in the white light alone, and its manufacture method.

[0007]

[Means for Solving the Problem] The 1st n-type-semiconductor material layer by which it was formed on a substrate and this substrate and the upper part was classified into the 1st zone and the 2nd zone in order that this invention might attain the above-mentioned purpose, this -- with the 2nd n-type-semiconductor material layer formed on the 1st n-type-semiconductor material layer this -- with the 1st electrode which is formed on a p type semiconductor material formed on the 2nd n-type-semiconductor material layer, and this p type semiconductor material, and does not cover this p type semiconductor material completely this, when it consists of the 2nd electrode which is formed on the 2nd zone of the 1st n-type-semiconductor material, and does not cover this 2nd zone completely and current is passed to said the 1st electrode and 2nd electrode A spectrum emitted from an interface of said 2nd n-type-semiconductor material layer and p type semiconductor material considered as a configuration of white light emitting diode which has two kinds of wavelength peaks.

[0008] \*\* substrate is offered in this invention. On \*\* this substrate Moreover, the 1st n-type-semiconductor material, Grow up the 2nd n-type-semiconductor material and p type semiconductor material in order, and structure of white light emitting diode is formed. \*\* Etch into said p type semiconductor material and the 2nd n-type-semiconductor material locally. While it is made for the 2nd n-type-semiconductor material not to cover the 1st n-type-semiconductor material completely and it plates the 1st electrode and 2nd electrode, respectively on the \*\* aforementioned p type semiconductor material and the 1st n-type-semiconductor material It arranges so that said 2nd electrode may not cover the 1st n-type-semiconductor material completely, and white light emitting diode was manufactured so that said 1st electrode might not cover a p type semiconductor material completely.

[0009] A method which this invention uses is a thing of making an emission spectrum of a plane of composition of pn junction diode generate two wavelength peaks within the limits of a specific parameter by mainly adjusting proportionally [ component / of temperature at the time of forming pn junction diode using epitaxial growth, a pressure, an ammonia flow rate, and carrier gas ( hydrogen and nitrogen ) ], or adding impurities, such as magnesium and silicon. By controlling luminescence wavelength and reinforcement of a wavelength peak, the white light is compoundable.

[0010] This invention grows up quantum well structure into structure of pn junction diode, makes an emission spectrum of each quantum well generate a wavelength peak different, respectively by adjusting a parameter at the time of performing epitaxial growth again, and can also compound the white light combining two or three different wavelength peaks.

[0011]

[Embodiment of the Invention] In order to clarify the structure, the feature, and the advantage of this invention further, this invention is explained about a desirable example below at details.

[0012]

[Example] The white light emitting diode by this invention mainly compounds the white light by generating two or more kinds of wavelength peaks from one light emitting diode. Fundamentally, when compounding the white light using two kinds of different wavelength peaks, the blue glow whose wavelength is generally about 430nm, and the yellow light whose wavelength is about 560nm are adopted. When compounding the white light using three kinds of different wavelength peaks, the blue glow whose wavelength is generally about 370nm - 500nm, the green light whose wavelength is about 500nm - 560nm, and the red light whose wavelength is about 620nm - 700nm are adopted. In short, even if it adopts what kind of composite system, it must contain on the basis of light with wavelength surely shorter than blue glow or blue glow.

The manufacture method of the white light emitting diode by example 1 this invention is as follows.

[0013] As shown in drawing 1 (a), epitaxial growth technology (for example, methods, such as organic metal vapor phase epitaxy and MOVPE) is used, and epitaxial growth of 1st n mold gallium nitride (GaN) 22, 2nd n mold gallium nitride 24, and the p mold gallium nitride 26 is carried out one by one on a substrate (for example, substrate of sapphire) 20.

[0014] Subsequently, as shown in drawing 1 (b), using a photolithography technology and etching technology, a part of 2nd n mold gallium nitride 24 and p mold gallium nitride layer 26 are removed, and the 1st electrode 28a and 2nd electrode 28b are formed, respectively on the above-mentioned p mold gallium nitride 26 and 2nd n mold gallium nitride 24.

[0015] At the process of above-mentioned epitaxial growth, it is temperature, Pressure, ammonia (NH<sub>3</sub>) flow rate, By adjusting the component ratio of carrier gas (hydrogen and nitrogen), or adding impurities, such as magnesium and silicon, and adjusting various parameters An epitaxial layer 22, 24, and 26 can be made to produce an energy gap different, respectively. Especially near an interface with epitaxial layers 24 and 26 The emission spectrum generated when current is added from outside has two wavelength peaks, and is distinguished by the blue glow whose wavelength is 370nm - about 450nm, respectively, and the yellow light whose wavelength is 500nm - about 600nm.

The white light emitting diode explained by drawing 1 (b) of the example 2 above-mentioned was the homogeneous structure (gay

epitaxy) where the epitaxial layer consisted of gallium nitride. The example 2 of this invention uses an aluminum nitride gallium instead of gallium nitride, and forms heterogeneous structure (hetero-epi KITASHI).

[0016] n mold aluminum nitride gallium 32 from which that structure was formed on a substrate 30 and this substrate 30, and the upper part was distinguished in the 1st zone and the 2nd zone as shown in drawing 2, n mold gallium nitride 34 formed on the 1st zone of this n mold aluminum nitride gallium 32, p mold aluminum nitride gallium 36 formed on this n mold gallium nitride 34, 1st electrode 38a which is formed on this p mold aluminum nitride gallium 36, and does not cover p mold aluminum nitride gallium 36 completely. It consists of the 2nd electrode 38b which is formed on the 2nd zone of the further above-mentioned n mold aluminum nitride gallium 32, and does not cover this 2nd zone completely.

[0017] The white light is compoundable by, as for the epitaxial layer grown up according to the example 2 mentioned above, that emission spectrum's having two wavelength peaks, blue glow (B) and yellow light (Y), and the color of the light which this light emitting diode emits being what mixed two kinds of this coloring light, and controlling that mixing ratio suitably within the limits of a specific parameter. The hetero-epi KITASHI structure which makes n mold gallium nitride in an example 2 a luminescence barrier layer can raise the luminous efficiency of white light emitting diode. Moreover, with this structure, an indium is not contained at all in a luminescence barrier layer, but white light emitting diode can be manufactured only by gallium nitride. And in order for the lattice constant of an aluminum nitride gallium not to change a lot with it of gallium nitride, the temperature in the case of epitaxial growth is the same as gallium nitride, and good, therefore the structure of this example raises luminous efficiency, and also can suppress a crystal defect few.

Example 3 example 3 is what added a gallium nitride buffer coat and p mold gallium nitride to the structure of an example 2, by doing so, it can raise the quality and the luminescence brightness of an epitaxial layer, can make applied voltage small, and can develop a use life.

[0018] The gallium nitride buffer coat 41 from which that structure is formed on a substrate 40 and this substrate 40, and the upper part is distinguished in the 1st zone and the 2nd zone as shown in drawing 3, n mold aluminum nitride gallium 42 formed on the 1st zone of this gallium nitride buffer coat 41, n mold gallium nitride 43 formed on this aluminum nitride gallium 42, p mold aluminum nitride gallium 44 formed on this n mold gallium nitride 43, p mold gallium nitride 45 which is formed on this p mold aluminum nitride gallium 44, and does not cover p mold aluminum nitride gallium 44 completely. It consists of the 2nd electrode 48b which is formed on the 2nd zone of 1st electrode 48a formed on this p mold gallium nitride 45, and the buffer coat 41 of this gallium nitride, and does not cover the 2nd zone completely.

By controlling the parameter of epitaxial growth, the example 3 of this invention mentioned on the example 4 produces a different energy gap difference between each epitaxial layer, and generates a wavelength peak which is different in an emission spectrum. In the example given to below on the other hand, the light from which wavelength differs in each quantum well, respectively can be generated by adjusting the parameter at the time of carrying out epitaxial growth of the quantum well into light emitting diode like the example which manufactured quantum well structure and was mentioned above.

[0019] As shown in drawing 4, an example 4 is what makes 2 sets of quantum wells an activity luminous layer. A substrate 50 and the gallium nitride buffer coat 52 by which it was formed on this substrate 50 and the upper part was classified into the 1st zone and the 2nd zone, n mold aluminum nitride gallium 54 formed on the 1st zone of this gallium nitride buffer coat 52, The 1st indium nitride gallium quantum well structure 55 which is formed on this n mold aluminum nitride gallium 54, and can emit the yellow light whose wavelength is about 550nm - 620nm, The 2nd indium nitride gallium quantum well structure 56 which is formed on this 1st indium nitride gallium quantum well structure 55, and can emit the blue glow whose wavelength is about 370nm - 500nm, p mold aluminum nitride gallium 57 formed on this 2nd indium nitride gallium quantum well structure 56, p mold gallium nitride 58 which is formed on this p mold aluminum nitride gallium 57, and does not cover p mold aluminum nitride gallium 57 completely. It consists of the 2nd electrode 59b which is formed on 1st electrode 59a formed on this p mold gallium nitride 58, and the 2nd zone of the gallium nitride buffer coat 52, and does not cover the 2nd zone completely.

[0020] The 1st indium nitride gallium quantum well structure 55 consists of indium nitride gallium barrier layers 55a and 55c to which indium nitride gallium quantum well layer 55b between about 10nm and 0.5nm and thickness have thickness in the both sides of indium nitride gallium quantum well layer 55b from about 100 to 5nm. Similarly, it consists of indium nitride gallium barrier layers 56a and 56c to which the 2nd indium nitride gallium quantum well structure 56 is also thick in the both sides of indium nitride gallium quantum well layer 56b of indium nitride gallium quantum well layer 56b between about 10nm and 0.5nm, and thickness from about 100 to 5nm. The chemical formula of the indium nitride gallium barrier layers 55a and 55c Among those, In<sub>x</sub> Ga<sub>1-x</sub> N. The chemical formula of the indium nitride gallium barrier layers 56a and 56b In<sub>m</sub> Ga<sub>1-m</sub> N, It is expressed with In<sub>n</sub> Ga<sub>1-n</sub> N, and the chemical formula of indium nitride gallium quantum well layer 56b is n mold aluminum nitride gallium 54 and p. All the chemical formulas of the mold aluminum nitride gallium 57 are expressed with Al<sub>x</sub> Ga<sub>1-x</sub> N. However, it is 1>=x>0, 1>=z>y>=0, and 1>=n>m>=0. Although the 2nd indium nitride gallium quantum well structure 56 emits blue glow with comparatively short wavelength and the 1st indium nitride gallium quantum well structure 55 emits a comparatively long yellow light of wavelength, this is for preventing the light which the 1st indium nitride gallium quantum well structure 55 emitted being absorbed by the 2nd indium nitride gallium quantum well structure

56.

Although the example 5 has adopted the same manufacture process and same parameter as an example 4 as shown in drawing 5 in order to raise the luminescence brightness of example 5 white light emitting diode and to enable adjustment of each wavelength peak on the strength, the number of the quantum wells in the 1st indium nitride gallium quantum well structure 55 and the 2nd indium nitride gallium quantum well structure 56 is increased. Moreover, what is expressed with the same sign as drawing 4 in drawing 5 shows the same component, and decides to avoid the explanation which overlapped here.

Although the example 4 and example 5 which were mentioned above example 6 are all compounding the white light using two wavelength peaks, the blue glow in an emission spectrum, and yellow light, within the limits, in addition to this, they can compound the white light using three wavelength peaks, blue glow, green light, and red light, within the limits. As the example 6 is equipped with 3 sets of quantum well structures and shown in drawing 6, therefore, the structure A substrate 60 and the gallium nitride buffer coat 61 by which it was formed on this substrate 60 and the upper part was classified into the 1st zone and the 2nd zone, n mold aluminum nitride gallium 62 formed on the 1st zone of this gallium nitride buffer coat 61, The 1st indium nitride gallium quantum well structure 63 where it is formed on this n mold aluminum nitride gallium 62, and wavelength can emit about 570 to 640nm yellow light, or red light, The 2nd indium nitride gallium quantum well structure 64 where it is formed on this 1st indium nitride gallium quantum well structure 63, and wavelength can emit about 500 to 555nm green light, The 3rd indium nitride gallium quantum well structure 65 where it is formed on this 2nd indium nitride gallium quantum well structure 64, and wavelength can emit about 370 to 500nm blue glow, p mold aluminum nitride gallium 66 formed on this 3rd indium nitride gallium quantum well structure 65, p mold nitriding gallium 67 formed on this p mold aluminum nitride gallium 66, It consists of the 2nd electrode 68b which is formed on 1st electrode 68a formed on this p mold nitriding gallium 67, and the 2nd zone of this gallium nitride buffer coat 61, and does not cover the 2nd zone completely.

[0021] The 1st indium nitride gallium quantum well structure 63 consists of indium nitride gallium barrier layers 63a and 63b to which indium nitride gallium quantum well layer 63b between about 10nm and 0.5nm and thickness have thickness in the both sides of indium nitride gallium quantum well layer 63b from about 100 to 5nm. Similarly, the 2nd indium nitride gallium quantum well structure 64 consists of indium nitride gallium barrier layers 64a and 64c to which indium nitride gallium quantum well layer 64b between about 10nm and 0.5nm and thickness have thickness in the both sides of indium nitride gallium quantum well layer 64b from about 100 to 5nm. Moreover, the 3rd above-mentioned indium nitride gallium quantum well structure 65 consists of indium nitride gallium barrier layers 65a and 65c to which indium nitride gallium quantum well layer 65b between about 10nm and 0.5nm and thickness have thickness in the both sides of quantum well layer 65b of an indium nitride gallium from about 100 to 5nm.

Among those, the chemical formula of the indium nitride gallium barrier layers 63a and 63c is expressed with Iny Ga1-y N. Indium nitride gallium quantum well layer 63b A chemical formula is expressed with Inz Ga1-zN. The chemical formula of the indium nitride gallium barrier layers 64a and 64c is expressed with Inn Ga1-m N. Indium nitride gallium quantum well layer 64b A chemical formula is expressed with Inn Ga1-n N. The chemical formula of the indium nitride gallium barrier layers 65a and 65c is expressed with Inp Ga1-p N. Indium nitride gallium quantum well layer 65b A chemical formula is expressed with Inq Ga1-q N, and both the chemical formulas of n mold aluminum nitride gallium 62 and p mold aluminum nitride gallium 66 are expressed with Alx Ga1-x N. However, it is  $1 >= x > 0$ ,  $1 >= z > y > 0$ ,  $1 >= n > m > 0$ , and  $1 >= q > p > 0$ . Although the 3rd indium nitride gallium quantum well structure 65 emits blue glow with comparatively short wavelength, the 2nd indium nitride gallium quantum well structure 64 emits green light with comparatively long wavelength and the 1st indium nitride gallium quantum well structure 63 emits red light with still longer wavelength The light emitted from the 1st indium nitride gallium quantum well structure 63 is absorbed by the 2nd indium nitride gallium quantum well structure 64 and the 3rd indium nitride gallium quantum well structure 65, or this Or it is for preventing the light emitted from the 2nd indium nitride gallium quantum well structure 64 being absorbed by the 3rd indium nitride gallium quantum well structure 65.

Although the same manufacture process and same parameter as an example 6 are adopted in the example 7 as shown in drawing 7 in order to raise the luminescence brightness of white light emitting diode and to enable adjustment of each wavelength peak on the strength like the relation of the example 4 and example 5 which were mentioned above example 7 He increases the number of the quantum wells in the 1st indium nitride gallium quantum well structure 63, the 2nd indium nitride gallium quantum well structure 64, and the 3rd indium nitride gallium quantum well structure 65, and is trying for each class to contain two or more quantum wells.

[0022] Of course, there may be more quantum well structures than 2 sets or 3 sets like the method mentioned above, and 3 sets. Each quantum well structure can emit the light of specific wavelength, and if it is satisfied with coincidence of the conditions of making it growing up sequentially from what has the long wavelength of the wavelength peak of an emission spectrum and is [ it is clear and ] in it, the white light emitting diode with which an emission spectrum contains all the spectrums of a light field can be obtained. Moreover, by changing the number of the quantum wells in each quantum well structure, the reinforcement of each wavelength is fluctuated and all the spectrum light emitting diodes equipped with various spectrum gestalten can be obtained. However, when the problem on actual application and manufacture is taken into consideration, it is thought that the number of quantum well structures does not need to exceed 30 sets, and the number of the quantum well structures in the most desirable embodiment of light emitting diode is 15.

[0023] When the manufacturing process of organic metal gaseous-phase EPIKITASHI is mentioned as an example about control of the parameter of the epitaxial growth which made reference in each example mentioned above, the near range of the parameter which this invention uses is as follows. Epitaxial growth temperature an epitaxial growth pressure for about 900 to 1200 degrees C From about 20mb to 1000mb an ammonia (NH<sub>3</sub>) flow rate -- about 0.5 slm(s) 20slm(s) and a trimethylgallium (TMG) flow rate are 100sccm(s) from about 2 sccm(s). from -- The impurities to add are zinc (Zn), magnesium (Mg), carbon (C), mercury (Hg), cadmium (Cd), beryllium (Be), silicon (Si), sulfur (S), a selenium (Se), etc. If it says about the magnesium used in the example mentioned above, the addition concentration of an impurity will be about 1x10<sup>17</sup> to 1x10<sup>19</sup>cm<sup>-3</sup>.

[0024] Furthermore, altogether, although the example mentioned above was explained using a gallium nitride material and indium nitride gallium quantum well structure, it can adopt the semiconductor material of other IV-IV groups, an III-V group, or an II-VI group in practice, and can also manufacture white light emitting diode. For example, silicon carbide (SiC), aluminum nitride (AlN), boron nitride (BN), a zinc selenide (ZnSe), a selenium, zinc sulfide (ZnSeS), etc. are mentioned.

[0025]

[Effect of the Invention] This invention does not need to combine two or more light emitting diodes, and can emit light in the white light with a white light emitting diode simple substance. Therefore, while a production cost can be reduced sharply, a package and circuit control, and layout also become easy. Moreover, the long lasting white light emitting diode which it is not necessary to make coalesce in a fluorescence material, therefore does not have the problem of the formation of a short life by coalesce with a fluorescence material can be offered.

---

[Translation done.]

JAPANESE

[JP,11-135838,A]

---

CLAIMS DETAILED DESCRIPTION TECHNICAL FIELD PRIOR ART EFFECT OF THE INVENTION TECHNICAL PROBLEM  
MEANS EXAMPLE DESCRIPTION OF DRAWINGS DRAWINGS

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

## [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] (a) And (b) is a cross section explaining the manufacturing process which shows the 1st example of the white light emitting diode by this invention.

[Drawing 2] It is the cross section showing the structure of the 2nd example of the white light emitting diode by this invention.

[Drawing 3] It is the cross section showing the structure of the 3rd example of the white light emitting diode by this invention.

[Drawing 4] It is the cross section showing the structure of the 4th example of the white light emitting diode by this invention.

[Drawing 5] It is the cross section showing the structure of the 5th example of the white light emitting diode by this invention.

[Drawing 6] It is the cross section showing the structure of the 6th example of the white light emitting diode by this invention.

[Drawing 7] It is the cross section showing the structure of the 7th example of the white light emitting diode by this invention.

[Drawing 8] It is the plan showing the structure of the white light emitting diode known conventionally.

[Drawing 9] It is the side elevation of the structure of another white light emitting diode known conventionally.

## [Description of Notations]

10 Pixel

12 Diode Die

14 Fluorescence Material

15a and 15b Metal stand

16 Covering Material

20, 30, 40, 50, and 60 Substrate

22 1st N Mold Gallium Nitride

24 2nd N Mold Gallium Nitride

26, 45, 58, 67 p mold gallium nitride

28a, 38a, 48a, 59a, and 68a The 1st electrode

28b, 38b, 48b, 59b, and 68b The 2nd electrode

32, 42, 54, 62 n mold aluminum nitride gallium

34, 43 n mold gallium nitride

36, 44, 57, 66 p mold aluminum nitride gallium

41, 52, and 61 Gallium nitride buffer coat

55 63 1st indium nitride gallium quantum well structure

55b, 56b, 63b, 64b, and 65b Indium nitride gallium quantum well layer

55a, 55c, 56a, 56c, 63a, 63c, 65a, and 65c Indium nitride gallium barrier layer 56 64 2nd indium nitride gallium quantum well structure

64a and 64c Indium nitride gallium barrier layer

65 3rd Indium Nitride Gallium Quantum Well Structure

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-135838

(43)公開日 平成11年(1999)5月21日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
H 0 1 L 33/00

識別記号

F I  
H 0 1 L 33/00

F

審査請求 有 請求項の数62 O.L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平9-286987

(22)出願日 平成9年(1997)10月20日

(71)出願人 390023582  
財団法人工業技術研究院  
台湾新竹縣竹東鎮中興路四段195號  
(72)発明者 陳 金源  
台湾新竹市明湖路648巷102弄55号  
(72)発明者 黄 兆年  
台湾新竹縣竹東鎮光明路126巷4号5樓  
(72)発明者 黄 斐章  
台湾苗栗市嘉盛里208-1号  
(72)発明者 洪 銘煌  
台湾新竹市明湖路648巷104弄30号  
(74)代理人 弁理士 鈴木 弘男

最終頁に続く

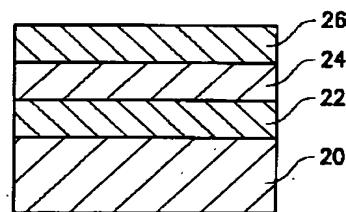
(54)【発明の名称】白色発光ダイオード及びその製造方法

(57)【要約】 (修正有)

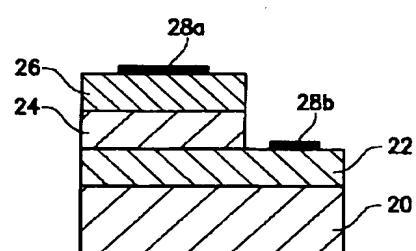
【課題】単体で白色光を発光することができる白色発光ダイオードおよびその製造方法を提供すること。

【解決手段】エピタキシャル成長によってp-n接合ダイオードを形成させる際の温度、圧力、アンモニア(NH<sub>3</sub>)流量、キャリアガス(水素と窒素)の成分比を調整し、あるいはマグネシウム、珪素等の不純物を加えることによって特定のパラメータの範囲内でp-n接合ダイオード接合面の発光スペクトルが波長ピークを2つ発するようにするものである。そのほか、p-n接合ダイオードの構造内に量子井戸構造を成長させ、同様にエピタキシャル成長を行う際のパラメータを調整することにより、量子井戸構造の発光スペクトルに複数の異なる波長ピークを発生させ、2つ又は3つの波長ピークを混合して白色光を合成することもできる。

(a)



(b)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、該基板上に形成され、上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された第1のn型半導体材料層と、  
該第1のn型半導体材料層上に形成された第2のn型半導体材料層と、  
該第2のn型半導体材料層上に形成されたp型半導体材料と、  
該p型半導体材料上に形成され、且つ該p型半導体材料を完全には覆わない第1の電極と、  
該第1のn型半導体材料の第2ゾーン上に形成され、且つ該第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極とからなり、  
前記第1の電極と第2の電極に電流を流したとき、前記第2のn型半導体材料層とp型半導体材料の界面から発せられるスペクトルが2種類の波長ピークを有し、それにより白色光を合成できることを特徴とする白色発光ダイオード。

【請求項2】 前記n型半導体材料とp型半導体材料がともに窒化ガリウムであることを特徴とする請求項1に記載の白色発光ダイオード。

【請求項3】 前記第1のn型窒化ガリウムの代わりにn型窒化アルミニウム・ガリウムを、前記p型窒化ガリウムの代わりにp型窒化アルミニウム・ガリウムを使用できることを特徴とする請求項2に記載の白色発光ダイオード。

【請求項4】 基板と、該基板上に形成され、上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された緩衝層と、  
該緩衝層の第1ゾーン上に形成された第1のn型半導体材料と、  
該第1のn型半導体材料上に形成された第2のn型半導体材料と、  
該第2のn型半導体材料上に形成された第1のp型半導体材料と、  
該第1のp型半導体材料上に形成され、且つ該第1のp型半導体材料を完全には覆わない第2のp型半導体材料と、  
該第2のp型半導体材料上に形成された第1の電極と、  
前記緩衝層の第2ゾーン上に形成され、且つ該第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極とからなることを特徴とする白色発光ダイオード。

【請求項5】 前記緩衝層が窒化ガリウム緩衝層であることを特徴とする請求項4に記載の白色発光ダイオード。

【請求項6】 前記第1のn型半導体材料がn型窒化アルミニウム・ガリウムであることを特徴とする請求項4に記載の白色発光ダイオード。

【請求項7】 前記第2のn型半導体材料がn型窒化ガリウムであることを特徴とする請求項4に記載の白色発光ダイオード。

【請求項8】 前記第1のp型半導体材料がp型窒化アルミニウム・ガリウムであることを特徴とする請求項4に記載の白色発光ダイオード。

【請求項9】 前記第2のp型半導体材料がp型窒化ガリウムであることを特徴とする請求項4に記載の白色発光ダイオード。

【請求項10】 基板と、該基板上に形成され、上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された緩衝層と、  
該緩衝層の第1ゾーン上に形成されたn型半導体材料と、  
該n型半導体材料上に形成され、波長が約550nmから620nmの黄色光を発することのできる第1の量子井戸構造と、

該第1の量子井戸構造上に形成され、波長が約370nmから500nmの青色光を発することのできる第2の量子井戸構造と、

該第2の量子井戸構造上に形成された第1のp型半導体材料と、

該第1のp型半導体材料上に形成され、且つ該第1のp型半導体材料を完全には覆わない第2のp型半導体材料と、

該第2のp型半導体材料上に形成された第1の電極と、  
前記緩衝層の第2ゾーン上に形成され、且つ該第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極とからなることを特徴とする白色発光ダイオード。

【請求項11】 前記緩衝層が窒化ガリウム緩衝層であることを特徴とする請求項10に記載の白色発光ダイオード。

【請求項12】 前記n型半導体材料がn型窒化アルミニウム・ガリウムであることを特徴とする請求項10に記載の白色発光ダイオード。

【請求項13】 前記第1の量子井戸構造と第2の量子井戸構造がともに窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造であることを特徴とする請求項10に記載の白色発光ダイオード。

【請求項14】 前記第1のp型半導体材料がp型窒化アルミニウム・ガリウムであることを特徴とする請求項10に記載の白色発光ダイオード。

【請求項15】 前記第2のp型半導体材料がp型窒化ガリウムであることを特徴とする請求項10に記載の白色発光ダイオード。

【請求項16】 前記n型窒化アルミニウム・ガリウムの化学式が $A_{1-x}Ga_{x}N$ で表わされ、且つ $1 \geq x > 0$ であることを特徴とする請求項12に記載の白色発光ダイオード。

【請求項17】 前記p型窒化アルミニウム・ガリウムの化学式が $A_{1-x}Ga_xN$ で表わされ、且つ $1 \geq x > 0$ であることを特徴とする請求項14に記載の白色発光ダイオード。

【請求項18】 前記第1の窒化インジウム・ガリウム

量子井戸構造が、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層と、該窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側に位置する窒化インジウム・ガリウム障壁層とからなることを特徴とする請求項13に記載の白色発光ダイオード。

【請求項19】 前記第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造が、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層と、該窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側に位置する窒化インジウム・ガリウム障壁層とからなることを特徴とする請求項13に記載の白色発光ダイオード。

【請求項20】 前記第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造が、複数個の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層と、各窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側に位置する窒化インジウム・ガリウム障壁層とからなることを特徴とする請求項13に記載の白色発光ダイオード。

【請求項21】 前記第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造が、複数個の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層と、各窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側に位置する窒化インジウム・ガリウム障壁層とからなることを特徴とする請求項13に記載の白色発光ダイオード。

【請求項22】 前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の化学式が $I_{n_z}G_{a_{1-z}}N$ で表され、前記窒化インジウム・ガリウム障壁層の化学式が $I_{n_y}G_{a_{1-y}}N$ で表わされ、且つ $1 \geq z > y \geq 0$ であることを特徴とする請求項18又は請求項20に記載の白色発光ダイオード。

【請求項23】 前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の化学式が $I_{n_n}G_{a_{1-n}}N$ で表され、前記窒化インジウム・ガリウム障壁層の化学式が $I_{n_m}G_{a_{1-m}}N$ で表わされ、且つ $1 \geq n > m \geq 0$ であることを特徴とする請求項19又は請求項21に記載の白色発光ダイオード。

【請求項24】 前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の厚さが $0.5\text{nm}$ から $10\text{nm}$ の間であり、前記窒化インジウム・ガリウム障壁層の厚さが $5\text{nm}$ から $100\text{nm}$ の間であることを特徴とする請求項22に記載の白色発光ダイオード。

【請求項25】 前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の厚さが $0.5\text{nm}$ から $10\text{nm}$ の間であり、前記窒化インジウム・ガリウム障壁層の厚さが $5\text{nm}$ から $100\text{nm}$ の間であることを特徴とする請求項23に記載の白色発光ダイオード。

【請求項26】 基板と、該基板上に形成され、上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された緩衝層と、該緩衝層の第1ゾーン上に形成されたn型半導体材料と、

該n型半導体材料上に形成され、波長が約 $570\text{nm}$ から $650\text{nm}$ の黄色光又は赤色光を発することのできる第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造と、

該第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造上に形成され、波長が約 $500\text{nm}$ から $555\text{nm}$ の緑色光を発することのできる第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造と、

該第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造上に形成され、波長が約 $370\text{nm}$ から $500\text{nm}$ の青色光を発することのできる第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造と、

該第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造上に形成された第1のp型半導体材料と、

該第1のp型半導体材料上に形成され、且つ該第1のp型半導体材料を完全には覆わない第2のp型半導体材料と、

該第2のp型半導体材料上に形成された第1の電極と、前記緩衝層の第2ゾーン上に形成され、且つ該第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極とからなることを特徴とする白色発光ダイオード。

【請求項27】 前記緩衝層が窒化ガリウム緩衝層であることを特徴とする請求項26に記載の白色発光ダイオード。

【請求項28】 前記n型半導体材料がn型窒化アルミニウム・ガリウムであることを特徴とする請求項26に記載の白色発光ダイオード。

【請求項29】 前記第1のp型半導体材料がp型窒化アルミニウム・ガリウムであることを特徴とする請求項26に記載の白色発光ダイオード。

【請求項30】 前記第2のp型半導体材料がp型窒化ガリウムであることを特徴とする請求項26に記載の白色発光ダイオード。

【請求項31】 前記第1の量子井戸構造、第2の量子井戸構造及び第3の量子井戸構造がすべて窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造であり、且つ各窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造がすべて、少なくとも、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層一層と該窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側に位置する窒化インジウム・ガリウム障壁層とからなることを特徴とする請求項26に記載の白色発光ダイオード。

【請求項32】 前記n型窒化アルミニウム・ガリウムの化学式が $A_{1_x}G_{a_{1-x}}N$ で表わされ、且つ $1 \geq x > 0$ であることを特徴とする請求項28に記載の白色発光ダイオード。

【請求項33】 前記p型窒化アルミニウム・ガリウムの化学式が $A_{1_x}G_{a_{1-x}}N$ で表わされ、且つ $1 \geq x > 0$ であることを特徴とする請求項29に記載の白色発光ダイオード。

【請求項34】 前記第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造のうち、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の化学式が $I_{n_z}G_{a_{1-z}}N$ で表わされ、窒化インジウム・ガリウム障壁層の化学式が $I_{n_y}G_{a_{1-y}}N$ で表わされ、且つ $1 \geq z > y \geq 0$ であることを特徴とする

請求項31に記載の白色発光ダイオード。

【請求項35】 前記第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造のうち、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の化学式が  $I_{n_n} Ga_{1-n_n}$  Nで表わされ、窒化インジウム・ガリウム障壁層の化学式が  $I_{n_m} Ga_{1-n_m}$  Nで表わされ、且つ  $1 \geq n > m \geq 0$  であることを特徴とする請求項31に記載の白色発光ダイオード。

【請求項36】 前記第3窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造のうち、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の化学式が  $I_{n_q} Ga_{1-q}$  Nで表わされ、窒化インジウム・ガリウム障壁層の化学式が  $I_{n_p} Ga_{1-p}$  Nで表わされ、且つ  $1 \geq q > p \geq 0$  であることを特徴とする請求項31に記載の白色発光ダイオード。

【請求項37】 前記第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層、第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層及び第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の厚さがすべて  $0.5\text{ nm}$  から  $10\text{ nm}$  の間であり、且つ前記第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層、第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層及び第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の障壁層の厚さがすべて  $5\text{ nm}$  から  $100\text{ nm}$  の間であることを特徴とする請求項31に記載の白色発光ダイオード。

【請求項38】 基板と、該基板上に形成され、上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された緩衝層と、該緩衝層の第1ゾーン上に形成されたn型半導体材料と、

該n型半導体材料上に形成され、発光スペクトルの波長ピークの波長が長いものから順に成長させた複数組の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造と、

前記複数組の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造上に形成された第1のp型半導体材料と、

前記第1のp型半導体材料上に形成され、且つ該第1のp型半導体材料を完全には覆わない第2のp型半導体材料と、

前記第2のp型半導体材料上に形成された第1の電極と、

前記緩衝層の第2ゾーン上に形成され、且つ該第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極とからなることを特徴とする白色発光ダイオード。

【請求項39】 前記複数組の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造のうち、各窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造がすべて、少なくとも、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層一層と、該窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側に位置する窒化インジウム・ガリウム障壁層とからなることを特徴とする請求項38に記載の白色発光ダイオード。

【請求項40】 前記複数組の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造の数が約3組から30組であることを特徴とする請求項38に記載の白色発光ダイオード。

【請求項41】 前記複数組の窒化インジウム・ガリウ

ム量子井戸構造の数が15組を最適とすることを特徴とする請求項38に記載の白色発光ダイオード。

【請求項42】 前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の厚さがすべて  $0.5\text{ nm}$  から  $10\text{ nm}$  の間であり、前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の窒化インジウム・ガリウム障壁層の厚さがすべて  $5\text{ nm}$  から  $100\text{ nm}$  の間であることを特徴とする請求項39に記載の白色発光ダイオード。

【請求項43】 前記窒化インジウム・ガリウム量子井戸層のインジウム含有量が該窒化インジウム・ガリウム量子井戸層の両側の前記窒化インジウム・ガリウム障壁層のインジウム含有量よりも大きいことを特徴とする請求項39に記載の白色発光ダイオード。

【請求項44】 ①基板を提供し、  
②該基板上に、第1のn型半導体材料、第2のn型半導体材料及びp型半導体材料を順に成長させて白色発光ダイオードの構造を形成し、  
③前記p型半導体材料及び第2のn型半導体材料に局部的にエッチングを施し、第2のn型半導体材料が第1のn型半導体材料を完全には覆わないようにし、  
④前記p型半導体材料及び第1のn型半導体材料上にそれぞれ第1の電極と第2の電極をメッキするとともに、前記第1の電極がp型半導体材料を完全には覆わないように、また前記第2の電極が第1のn型半導体材料を完全には覆わないように配置することを特徴とする白色発光ダイオードの製造方法。

【請求項45】 前記半導体材料として窒化ガリウムを使用できることを特徴とする請求項44に記載の製造方法。

【請求項46】 前記第1のn型窒化ガリウムの代わりにn型窒化アルミニウム・ガリウムを使用でき、また前記p型窒化ガリウムの代わりにp型窒化アルミニウム・ガリウムを使用できることを特徴とする請求項45に記載の製造方法。

【請求項47】 ①基板を提供し、  
②該基板上に、緩衝層、第1のn型半導体材料、第2のn型半導体材料、第1のp型半導体材料及び第2のp型半導体材料を順に成長させて白色発光ダイオードの構造を形成し、  
③前記第2のp型半導体材料、第1のp型半導体材料、第2のn型半導体材料及び第1のn型半導体材料に局部的にエッチングを施し、前記第1のn型半導体材料が前記緩衝層を完全には覆わないようにし、  
④前記第2のp型半導体材料及び緩衝層の上にそれぞれ第1の電極と第2の電極をメッキするとともに、前記第2のp型半導体材料と第1の電極が前記第1のp型半導体材料を完全には覆わないように、前記第2の電極が前記緩衝層を完全には覆わないように配置することを特徴とする白色発光ダイオードの製造方法。

【請求項48】 前記緩衝層が窒化ガリウムを材料とし

て形成されることを特徴とする請求項47に記載の製造方法。

【請求項49】 前記第1のn型半導体材料がn型窒化アルミニウム・ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項47に記載の製造方法。

【請求項50】 前記第2のn型半導体材料がn型窒化ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項47に記載の製造方法。

【請求項51】 前記第1のp型半導体材料がp型窒化アルミニウム・ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項47に記載の製造方法。

【請求項52】 前記第2のp型半導体材料がp型窒化ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項47に記載の製造方法。

【請求項53】 ①基板を提供し、

②該基板上に緩衝層、n型半導体材料、第1の量子井戸構造、第2の量子井戸構造、第1のp型半導体材料及び第2のp型半導体材料を順に成長させて白色発光ダイオードの構造を形成し、

③前記第2のp型半導体材料、第1のp型半導体材料、第2の量子井戸構造、第1の量子井戸構造及びn型半導体材料に局部的にエッチングを施し、n型半導体材料が前記緩衝層を完全には覆わないようにし、

④前記第2のp型半導体材料及び緩衝層の上にそれぞれ第1の電極と第2の電極をメッキするとともに、前記第2のp型半導体材料と第1の電極が前記第1のp型半導体材料を完全には覆わないように、前記第2の電極が前記緩衝層を完全には覆わないように配置することを特徴とする白色発光ダイオードの製造方法。

【請求項54】 前記第2の量子井戸構造を成長させた後、第1のp型半導体材料を成長させる前に、第3の量子井戸構造を成長させる段階を経ることを特徴とする請求項53に記載の製造方法。

【請求項55】 前記緩衝層が窒化ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項53に記載の製造方法。

【請求項56】 前記n型半導体材料がn型窒化アルミニウム・ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項53に記載の製造方法。

【請求項57】 前記第1のp型半導体材料がp型窒化アルミニウム・ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項53又は請求項54に記載の製造方法。

【請求項58】 前記第2のp型半導体材料がp型窒化ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項53に記載の製造方法。

【請求項59】 前記量子井戸構造が窒化インジウム・ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項53に記載の製造方法。

【請求項60】 前記第3の量子井戸構造を成長させた

後、第1のp型半導体材料を成長させる前に、複数組の量子井戸構造を成長させる段階を経、且つ前記の量子井戸構造において発光スペクトルの波長ピークの波長が長いものから順に成長させることを特徴とする請求項54に記載の製造方法。

【請求項61】 成長させる量子井戸構造の数が約3組から30組の間であり、且つ各量子井戸構造がすべて、少なくとも、量子井戸層一層と該量子井戸層の両側に位置する障壁層とからなることを特徴とする請求項60に記載の製造方法。

【請求項62】 前記量子井戸構造がすべて窒化インジウム・ガリウムを材料として形成されることを特徴とする請求項61に記載の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、発光ダイオード及びその製造方法、特に複数のエネルギーギャップを有する白色発光ダイオードの構造及び製造方法に関するものである。

##### 【0002】

【従来の技術】従来の発光ダイオードは单一波長ピークと狭い半值幅を発光特性としており、そのため発光ダイオードの発する光はすべて純粹な単色光であった。例えば、砒素・アルミニウム・ガリウムの発光ダイオードは赤色光を発光し、燐・ガリウムの発光ダイオードは緑色光を発光する。そのほかにも、他の材料を使用したり、あるいは同一材料で組成比の異なるものを使用することによって、色や光度の異なる発光ダイオードを製造することができる。例えば、燐・砒素・ガリウムの燐と砒素の組成比、あるいは燐化アルミニウム・ガリウム・インジウムのアルミニウム・ガリウム・インジウムの組成比を調整することにより、赤・黄・緑三色を含む高光度の発光ダイオードを製造することができる。しかし上述の各種材料によって組成され、選択された構造及び製造方法を利用して作られた発光ダイオードは、すべて純粹な（半値幅の狭い）単色光（单一波長ピーク）だけを発するものである。

【0003】実際に応用する場合、材料・色ともに異なる2種類の発光ダイオードを組み合わせることができる。例えば、単色の赤色発光ダイオード（R）と単色の緑色発光ダイオード（G）を組み合わせ、赤色発光ダイオードと緑色発光ダイオードの発光強度比を調整し、この2色の光を混合させて多色の発光ダイオード光標示板を作ることができる。あるいは、材料・色ともに異なる3種類の発光ダイオードを組み合わせても良く、例えば、単色の赤色発光ダイオード（R）と、単色の緑色発光ダイオード（G）、単色の青色発光ダイオード（B）とを組み合わせ、この3色の発光ダイオード（R, G, B）の発光強度比を調整することにより、すべての色の発光ダイオード光標示板を作ることができる。また、前

述の全色発光可能な発光ダイオード光標示板は白色光の合成も可能であるため、発光ダイオードは、指示信号や情報標示板以外に照明にも応用することができる。

【0004】図8は日本日亜化工が製造した白色発光ダイオード（型番号N L K 2 0 1 5）の平面図であるが、図から、各画素10が2個の赤色発光ダイオード（R）と、2個の緑色発光ダイオード（G）と、1個の青色発光ダイオード（B）とから成っていることがわかる。このため、この種の白色発光ダイオードの製造コストは相当高くつく。その上、3色の発光ダイオードを別々に調整することに加えて電流で赤・緑・青3色の単色発光ダイオードの光強度を調節することにより白色光を合成するため、少なくとも4つの電極端子を用意する必要があり、駆動システムの設計が非常に複雑になる。その上、もし5個の発光ダイオードの1つが他の発光ダイオードより早く劣化した場合には、製品の色平衡が失われる事となる。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】そこで日亜化工は、コスト削減ため、R・G・B3色の発光ダイオードを組み合わせる必要のない白色発光ダイオード電球を開発した。この白色発光ダイオード電球は、図9に示されるように、窒化ガリウム・インジウム／窒化ガリウムの青色発光ダイオード・ダイ12と蛍光材料14とを組み合わせたもので、先ず発光ダイオード・ダイ12を金属架台15aの上に載置し、同時に発光ダイオード・ダイ12の表面にある電極をもう一方の金属架台15bに接続し、次に蛍光材料14で金属架台15a上の凹型槽を満たし、最後にカバー材料16で発光ダイオード・ダイ12を金属架台15a、15bの頭部とともに覆い、固定する。その原理は、青色発光ダイオード・ダイが発する青色光で蛍光材料を触発して半值幅のより広い黄色の光線を発生させ、元の青色光と混合させることにより白色光を合成するというものである。この方法を使用すれば、製造コストを大幅に下げ、駆動システムを簡略化することができる。しかし、蛍光材料の寿命は僅か約5000～10000時間であり、発光ダイオード自身の寿命100000時間に比べ遙かに短いため、白色発光ダイオードの寿命もまた制限されることになる。

【0006】本発明は、上記従来の問題点に鑑み、従来技術の欠点を改善するため、複数のエネルギーギャップを有し、単体で白色光を発光することができる白色発光ダイオードおよびその製造方法を提供することを目的とするものである。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は上記の目的を達成するために、基板と、該基板上に形成され上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された第1のn型半導体材料層と、該第1のn型半導体材料層上に形成された第2のn型半導体材料層と、該第2のn型半導体材料層上に

形成されたp型半導体材料と、該p型半導体材料上に形成され、且つ該p型半導体材料を完全には覆わない第1の電極と、該第1のn型半導体材料の第2ゾーン上に形成され、且つ該第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極とからなり、前記第1の電極と第2の電極に電流を流したとき、前記第2のn型半導体材料層とp型半導体材料の界面から発せられるスペクトルが2種類の波長ピークを有する白色発光ダイオードの構成とした。

【0008】また本発明においては、①基板を提供し、②該基板上に第1のn型半導体材料、第2のn型半導体材料及びp型半導体材料を順に成長させて白色発光ダイオードの構造を形成し、③前記p型半導体材料及び第2のn型半導体材料に局部的にエッチングを施し、第2のn型半導体材料が第1のn型半導体材料を完全には覆わないようにしてし、④前記p型半導体材料及び第1のn型半導体材料上にそれぞれ第1の電極と第2の電極をメッキするとともに、前記第1の電極がp型半導体材料を完全には覆わないよう、また前記第2の電極が第1のn型半導体材料を完全には覆わないよう配置して白色発光ダイオードを製造するようにした。

【0009】本発明が使用する方法は主に、エピタキシャル成長を利用してp n接合ダイオードを形成する際の温度、圧力、アンモニア流量、キャリアガス（水素と窒素）の成分比例を調整し、或いはマグネシウム、珪素等の不純物を加えることにより、特定のパラメータの範囲内で、p n接合ダイオードの接合面の発光スペクトルに波長ピークを2つ発生させるというものである。波長ピークの発光波長及び強度を制御することにより、白色光を合成することができる。

【0010】本発明はまた、p n接合ダイオードの構造のなかに量子井戸構造を成長させ、エピタキシャル成長を行う際のパラメータを調整することにより各量子井戸の発光スペクトルにそれぞれ異なる波長ピークを発生させ、2つ又は3つの異なる波長ピークを組み合わせて白色光を合成することもできる。

#### 【0011】

【発明の実施の形態】本発明の構造、特徴及び長所を一層明らかにするため、以下に本発明を好ましい実施例について詳細に説明する。

#### 【0012】

【実施例】本発明による白色発光ダイオードは主に、1つの発光ダイオードから2種類以上の波長ピークを発生させることにより白色光を合成するものである。基本的に、2種類の異なる波長ピークを用いて白色光を合成する場合は、一般には波長が約430nmの青色光と波長が約560nmの黄色光が採用される。3種類の異なる波長ピークを用いて白色光を合成する場合は、一般に波長が約370nm～500nmの青色光と、波長が約500nm～560nmの緑色光と波長が約620nm～700nmの赤色光が採用される。要するに、どのよ

な合成方式を採用したとしても、必ず青色光あるいは青色光より波長の短い光を基準として含んでいかなくてはならない。

#### 実施例1

本発明による白色発光ダイオードの製造方法は以下のとおりである。

【0013】図1(a)に示されるように、エピタキシャル成長技術(例えば有機金属気相エピタキシー、MOVPE等の方法)を利用して、基板(例えばサファイアの基板)20の上に、第1のn型窒化ガリウム(GaN)22、第2のn型窒化ガリウム24、p型窒化ガリウム26を順次にエピタキシャル成長させる。

【0014】次いで図1(b)に示されるように、ホトリソグラフィ技術及びエッティング技術を利用して、第2のn型窒化ガリウム24及びp型窒化ガリウム層26の一部を除去し、そして前述のp型窒化ガリウム26及び第2のn型窒化ガリウム24の上にそれぞれ第1の電極28a及び第2の電極28bを形成する。

【0015】上述のエピタキシャル成長の過程では、温度、圧力、アンモニア(NH<sub>3</sub>)流量、キャリアガス(水素と窒素)の成分比を調整し、あるいはマグネシウム、珪素等の不純物を加え、各種パラメータを調整することにより、エピタキシャル層22、24、26にそれぞれ異なるエネルギーギャップを生じさせることができ、特にエピタキシャル層24と26との界面付近では、外から電流を加えた際に発生する発光スペクトルは波長ピークを2つ有し、それぞれ波長が370nm~450nm程度の青色光と波長が500nm~600nm程度の黄色光に区別される。

#### 実施例2

前述の図1(b)で説明した白色発光ダイオードは、エピタキシャル層が窒化ガリウムで構成された同質構造(ホモエピタキシー)であった。本発明の実施例2は、窒化ガリウムの代わりに窒化アルミニウム・ガリウムを利用し、異質構造(ヘテロエピタキシー)を形成したものである。

【0016】図2に示されるように、その構造は、基板30と、この基板30上に形成され、上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区別されたn型窒化アルミニウム・ガリウム32と、このn型窒化アルミニウム・ガリウム32の第1ゾーン上に形成されたn型窒化ガリウム34と、このn型窒化ガリウム34上に形成されたp型窒化アルミニウム・ガリウム36と、このp型窒化アルミニウム・ガリウム36上に形成され且つp型窒化アルミニウム・ガリウム36を完全には覆わない第1の電極38aと、さらに前述のn型窒化アルミニウム・ガリウム32の第2ゾーン上に形成され且つこの第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極38bとからなる。

【0017】上述した実施例2により成長させたエピタキシャル層は、特定のパラメータの範囲内において、そ

の発光スペクトルが青色光(B)及び黄色光(Y)の2つの波長ピークを有するものであり、この発光ダイオードが発する光線の色はこの2種類の彩色光を混合したもので、その混合比を適当に制御することにより白色光を合成することができる。実施例2におけるn型窒化ガリウムを発光活性層とするヘテロエピタキシー構造は、白色発光ダイオードの発光効率を高めることができる。また、この構造では、発光活性層の中にインジウムが全く含まれず、窒化ガリウムのみで白色発光ダイオードを製造することができる。しかも、窒化アルミニウム・ガリウムの格子定数は窒化ガリウムのそれと大きく変わらないため、エピタキシャル成長の際の温度も窒化ガリウムと同じでよく、従ってこの実施例の構造は発光効率を高めるほか結晶欠陥を少なく抑えることができるものである。

#### 実施例3

実施例3は、実施例2の構造に窒化ガリウム緩衝層及びp型窒化ガリウムを加えたもので、そうすることによりエピタキシャル層の品質及び発光輝度を高め、印加電圧を小さくし、使用寿命を伸ばすことのできるものである。

【0018】図3に示されるように、その構造は、基板40と、この基板40上に形成され上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区別される窒化ガリウム緩衝層41と、この窒化ガリウム緩衝層41の第1ゾーン上に形成されたn型窒化アルミニウム・ガリウム42と、この窒化アルミニウム・ガリウム42上に形成されたn型窒化ガリウム43と、このn型窒化ガリウム43上に形成されたp型窒化アルミニウム・ガリウム44と、このp型窒化アルミニウム・ガリウム44上に形成され且つp型窒化アルミニウム・ガリウム44を完全には覆わないp型窒化ガリウム45と、このp型窒化ガリウム45上に形成された第1の電極48aと、この窒化ガリウムの緩衝層41の第2ゾーン上に形成され且つ第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極48bとからなる。

#### 実施例4

上に挙げた本発明の実施例3は、エピタキシャル成長のパラメータを制御することにより各エピタキシャル層間で異なるエネルギーギャップ差を生じさせ、発光スペクトルに異なる波長ピークを発生させるものである。一方以下に挙げる実施例では、発光ダイオードの中に量子井戸構造を製造し、上述した実施例と同様、量子井戸をエピタキシャル成長させる際のパラメータを調整することにより、各量子井戸に波長のそれぞれ異なる光を発生させることができる。

【0019】図4に示されるように、実施例4は2組の量子井戸を活性発光層とするもので、基板50と、この基板50上に形成され上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された窒化ガリウム緩衝層52と、この窒化ガリウム緩衝層52の第1ゾーン上に形成されたn型窒化ア

ルミニウム・ガリウム54と、このn型窒化アルミニウム・ガリウム54の上に形成され、波長が約550 nm～620 nmの黄色光を発することのできる第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造55と、この第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造55上に形成され、波長が約370 nm～500 nmの青色光を発することのできる第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造56と、この第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造56の上に形成されたp型窒化アルミニウム・ガリウム57と、このp型窒化アルミニウム・ガリウム57の上に形成され且つp型窒化アルミニウム・ガリウム57を完全には覆わないp型窒化ガリウム58と、このp型窒化ガリウム58上に形成された第1の電極59aと、窒化ガリウム緩衝層52の第2ゾーン上に形成され且つ第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極59bとからなる。

【0020】第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造55は、厚さが約10 nmから0.5 nmの間の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層55bと、厚さが約100 nmから5 nmの間で、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層55bの両側にある窒化インジウム・ガリウム障壁層55a及び55cとからなる。同様に、第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造56もまた、厚さが約10 nmから0.5 nmの間の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層56bと、厚さが約100 nmから5 nmの間で、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層56bの両側にある窒化インジウム・ガリウム障壁層56a及び56cとからなる。そのうち、窒化インジウム・ガリウム障壁層55a及び55cの化学式は $I_{n_y} Ga_{1-y} N$ 、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層55bの化学式は $I_{n_z} Ga_{1-z} N$ で表わされ、窒化インジウム・ガリウム障壁層56a及び56bの化学式は $I_{n_a} Ga_{1-a} N$ 、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層56bの化学式は $I_{n_b} Ga_{1-b} N$ で表わされ、またn型窒化アルミニウム・ガリウム54及びp型窒化アルミニウム・ガリウム57の化学式はすべて $Al_x Ga_{1-x} N$ で表わされる。ただし、 $1 \geq x > 0$ 、 $1 \geq z > y \geq 0$ 、 $1 \geq n > m \geq 0$ である。第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造56は波長が比較的短い青色光を発し、第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造55は波長の比較的長い黄色光を発するが、これは第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造55が発した光が第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造56に吸収されるのを防ぐためである。

#### 実施例5

白色発光ダイオードの発光輝度を高め且つ各波長ピークの強度調整を可能にするため、図5に示されるように、実施例5は実施例4と同様の製造過程及びパラメータを採用しているが、第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造55と第2の窒化インジウム・ガリウム量子井

戸構造56の中の量子井戸の数を増やしてある。また、図5の中で、図4と同じ符号で表わされているものは同じ構成要素を示しており、ここでは重複した説明を避けることとする。

#### 実施例6

上述した実施例4及び実施例5は、いずれも発光スペクトルにおける青色光及び黄色光の範囲内の2つの波長ピークを利用して白色光を合成しているが、そのほかにも青色光、緑色光及び赤色光の範囲内の3つの波長ピークを利用して白色光を合成することができる。したがって、実施例6は3組の量子井戸構造を備えており、図6に示されるように、その構造は、基板60と、この基板60上に形成され上部が第1ゾーンと第2ゾーンとに区分された窒化ガリウム緩衝層61と、この窒化ガリウム緩衝層61の第1ゾーン上に形成されたn型窒化アルミニウム・ガリウム62と、このn型窒化アルミニウム・ガリウム62上に形成され、波長が約570 nmから640 nmの黄色光或いは赤色光を発することができる第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造63と、この第1窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造63上に形成され、波長が約500 nmから555 nmの緑色光を発することのできる第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造64と、この第2窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造64上に形成され、波長が約370 nmから500 nmの青色光を発することのできる第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造65と、この第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造65上に形成されたp型窒化アルミニウム・ガリウム66と、このp型窒化アルミニウム・ガリウム66上に形成されたp型窒化ガリウム67と、このp型窒化ガリウム67上に形成された第1の電極68aと、この窒化ガリウム緩衝層61の第2ゾーン上に形成され且つ第2ゾーンを完全には覆わない第2の電極68bとからなる。

【0021】第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造63は、厚さが約10 nmから0.5 nmの間の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層63bと、厚さが約100 nmから5 nmの間で、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層63bの両側にある窒化インジウム・ガリウム障壁層63a及び63cとからなる。同様に、第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造64は、厚さが約10 nmから0.5 nmの間の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層64bと、厚さが約100 nmから5 nmの間で、窒化インジウム・ガリウム障壁層64a及び64cとからなる。また、前述の第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造65は、厚さが約10 nmから0.5 nmの間の窒化インジウム・ガリウム量子井戸層65bと、厚さが約100 nmから5 nmの間で、窒化インジウム・ガリウムの量子井戸層65bの両側にある窒化インジウム・ガリウム障壁層65a及び65c

とからなる。そのうち、窒化インジウム・ガリウム障壁層 $63a$ 、 $63c$ の化学式は $In_x Ga_{1-y} N$ で表わされ、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 $63b$ の化学式は $In_z Ga_{1-z} N$ で表わされ、窒化インジウム・ガリウム障壁層 $64a$ 、 $64c$ の化学式は $In_n Ga_{1-n} N$ で表わされ、窒化インジウム・ガリウム量子井戸層 $64b$ の化学式は $In_p Ga_{1-p} N$ で表わされ、窒化インジウム・ガリウム障壁層 $65a$ 、 $65c$ の化学式は $In_q Ga_{1-q} N$ で表わされ、窒化アルミニウム・ガリウム $62$ 及び $p$ 型窒化アルミニウム・ガリウム $66$ の化学式はともに $Al_x Ga_{1-x} N$ で表わされる。ただし、 $1 \geq x > 0$ 、 $1 \geq z > y \geq 0$ 、 $1 \geq n > m \geq 0$ 、 $1 \geq q > p \geq 0$ である。第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 $65$ は波長が比較的短い青色光を発し、第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 $64$ は波長が比較的長い緑色光を発し、第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 $63$ は更に波長が長い赤色光を発するが、これは第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 $63$ から発せられる光が第2窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 $64$ 及び第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 $65$ に吸収されたり、或いは第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 $64$ から発せられた光が第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 $65$ に吸収されるのを防ぐためである。

#### 実施例7

前述した実施例4および実施例5の関係と同様に、白色発光ダイオードの発光輝度を高め、且つ各波長ピークの強度調整を可能にするため、実施例7では、図7に示されるように、実施例6と同様な製造過程及びパラメータを採用しているが、第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 $63$ 、第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 $64$ 及び第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造 $65$ の中の量子井戸の数を増やし、各組とも複数の量子井戸を含むようにしている。

【0022】もちろん、量子井戸構造の数は上述した方法のような2組或いは3組のみに限らず、3組よりも多くても構わない。各量子井戸構造が特定の波長の光を発することができ、同時に発光スペクトルの波長ピークの波長が長いものから順に成長させるという条件を満足してさえいれば、発光スペクトルが可視光領域の全スペクトルを含む白色発光ダイオードを得ることができる。また、各量子井戸構造中の量子井戸の数を変えることにより各波長の強度を変動させ、各種スペクトル形態を備えた全スペクトル発光ダイオードを得ることができる。しかしながら、実際の応用と製作上の問題を考慮すると、量子井戸構造の数は30組を超える必要はないと考えられ、また、発光ダイオードの最も好ましい実施態様における量子井戸構造は15組である。

【0023】上述した各実施例の中で言及したエピタキシャル成長のパラメータの制御に関しては、有機金属気相エピタキシーの製造工程を例に挙げると、本発明の使用するパラメータのおおよその範囲は以下のとおりである。エピタキシャル成長温度は約900°Cから1200°Cの間、エピタキシャル成長圧力は約20mbから1000mb、アンモニア(NH<sub>3</sub>)流量は約0.5slmから20slm、トリメチルガリウム(TMG)流量は約2sccmから100sccmで、添加する不純物は亜鉛(Zn)、マグネシウム(Mg)、炭素(C)、水銀(Hg)、カドミウム(Cd)、ベリリウム(Be)、珪素(Si)、硫黄(S)、セレン(Se)等で、上述した実施例において使用したマグネシウムに関して言えば、不純物の添加濃度は約 $1 \times 10^{17}$ から $1 \times 10^{19}$ cm<sup>-3</sup>である。

【0024】さらに、前述した実施例はすべて、窒化ガリウム材料と窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造を用いて説明したが、実際は他のIV-IV族、III-V族或いはII-VI族の半導体材料を採用して白色発光ダイオードを製造することもできる。例えば、炭化珪素(SiC)、窒化アルミニウム(AlN)、窒化硼素(BN)、セレン化亜鉛(ZnSe)、セレン・硫化亜鉛(ZnSeS)等が挙げられる。

#### 【0025】

【発明の効果】本発明は、複数の発光ダイオードを組み合わせる必要がなく、白色発光ダイオード単体で白色光を発光することができる。したがって生産コストを大幅に低減することができると同時に包装及び回路制御、設計も楽になる。また、蛍光材料と合体させる必要がなく、したがって蛍光材料との合体による短寿命化の問題のない長寿命の白色発光ダイオードを提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】(a)および(b)は本発明による白色発光ダイオードの第1の実施例を示す製造工程を説明する断面図である。

【図2】本発明による白色発光ダイオードの第2の実施例の構造を示す断面図である。

【図3】本発明による白色発光ダイオードの第3の実施例の構造を示す断面図である。

【図4】本発明による白色発光ダイオードの第4の実施例の構造を示す断面図である。

【図5】本発明による白色発光ダイオードの第5の実施例の構造を示す断面図である。

【図6】本発明による白色発光ダイオードの第6の実施例の構造を示す断面図である。

【図7】本発明による白色発光ダイオードの第7の実施例の構造を示す断面図である。

【図8】従来知られた白色発光ダイオードの構造を示す平面図である。

【図9】従来知られた別の白色発光ダイオードの構造の

側面図である。

【符号の説明】

- 10 画素
- 12 ダイオード・ダイ
- 14 蛍光材料
- 15a、15b 金属架台
- 16 カバー材料
- 20、30、40、50、60 基板
- 22 第1のn型窒化ガリウム
- 24 第2のn型窒化ガリウム
- 26、45、58、67 p型窒化ガリウム
- 28a、38a、48a、59a、68a 第1の電極
- 28b、38b、48b、59b、68b 第2の電極
- 32、42、54、62 n型窒化アルミニウム・ガリウム

34、43 n型窒化ガリウム

36、44、57、66 p型窒化アルミニウム・ガリウム

41、52、61 窒化ガリウム緩衝層

55、63 第1の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造

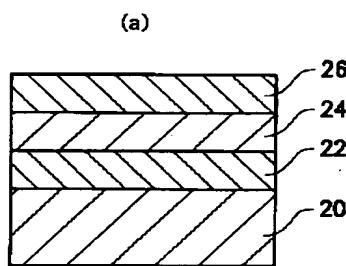
55b、56b、63b、64b、65b 窒化インジウム・ガリウム量子井戸層

55a、55c、56a、56c、63a、63c、65a、65c 窒化インジウム・ガリウム障壁層 56、64 第2の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造

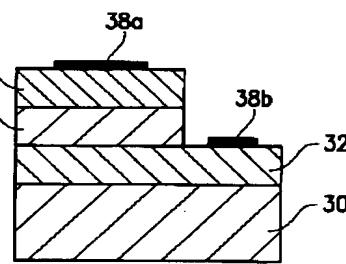
64a、64c 窒化インジウム・ガリウム障壁層

65 第3の窒化インジウム・ガリウム量子井戸構造

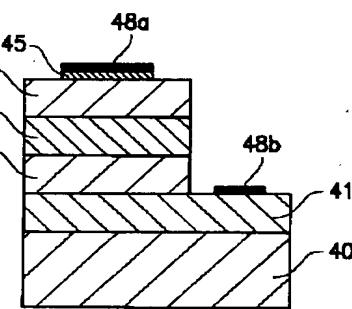
【図1】



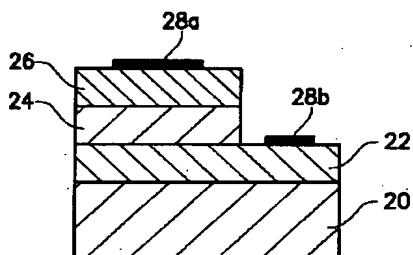
【図2】



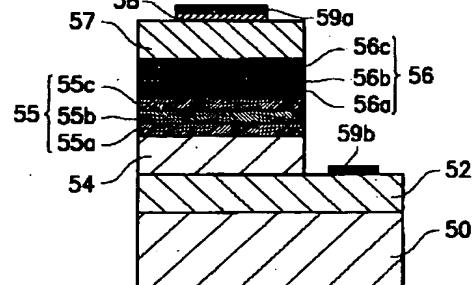
【図3】



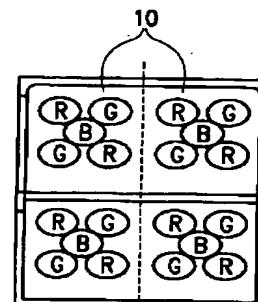
(b)



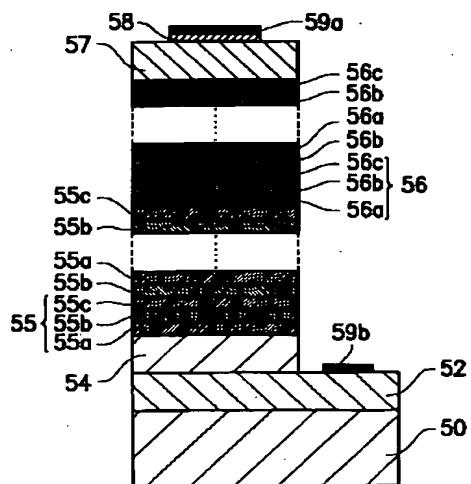
【図4】



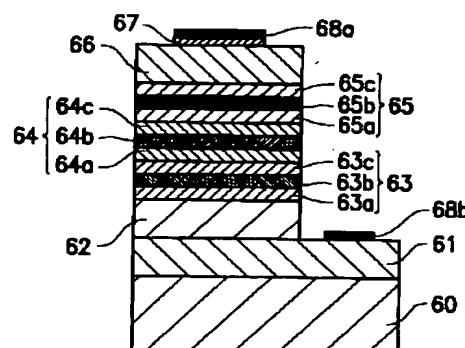
【図8】



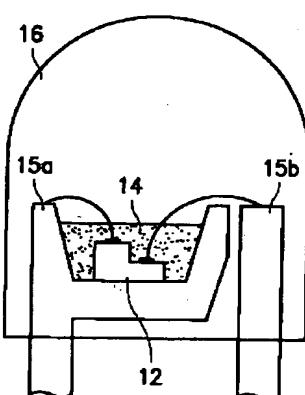
【図5】



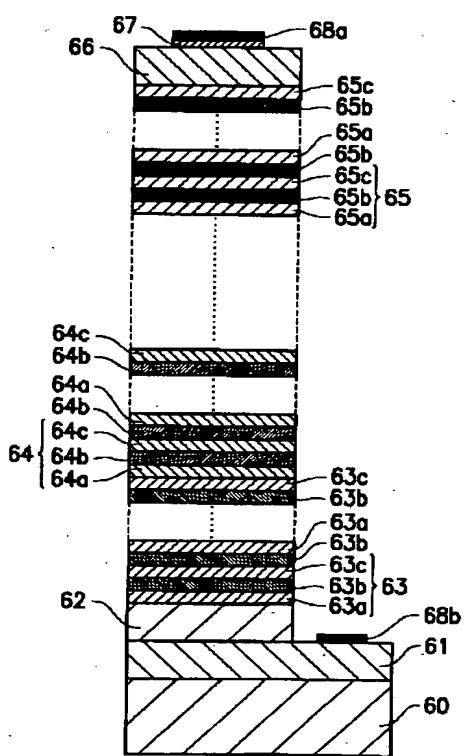
【図6】



【図9】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 林 耕華

台湾新竹市光明里5鄰光明新村167-2号

5楼